www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

JAARGANG 25, 1963, no. 11/12 blz. 349-404 Verschenen 11 juni 1964

Philips Technisch Tijdschrift

BEHANDELEND TECHNISCHE VRAAGSTUKKEN
SAMENHANGENDE MET DE PRODUKTEN, WERKWIJZEN EN ONDERZOEKINGEN
VAN DE N.V. PHILIPS' GLOEILAMPENFABRIEKEN

LICHTOPWEKKING MET SELECTIEVE THERMISCHE STRALERS

door E. KAUER *).

621.32:535-1

Vaak genoeg is betoogd dat het maken van nieuwe materialen van beslissende invloed is voor de moderne elektrotechniek. In het onderstaande artikel komt dit verband op treffende wijze tot uiting. Het stelselmatig zoeken naar bepaalde combinaties van materiaaleigenschappen — of het aantonen dat ze principieel onmogelijk zijn! — stoelt hier op diepgaande beschouwingen uit de vastestoffysica.

Inleiding

Reeds in prehistorische tijd kende de mens de thermische straler als lichtbron, in de vorm van het open vuur. Ook de eerste nieuwe lichtbronnen van ons technisch tijdperk: het gaslicht en de elektrische gloeilamp, waren weer thermische stralers. Deze beide worden nog heden op grote schaal toegepast, ook al heeft men intussen „koude" lichtbronnen ontwikkeld, waarvan het rendement aanzienlijk beter is dan dat van de thermische stralers.

Maar hebben we de mogelijkheden die de thermische straler biedt reeds ten volle gebruikt?

Sinds er een lichttechniek bestaat, heeft het niet ontbroken aan pogingen het rendement van de thermische lichtbronnen te verbeteren. Reeds vroeg heeft men ingezien dat de schadelijke energieverliezen van een gloeilamp in hoofdzaak bestaan uit infrarode straling, en men heeft getracht deze verliezen zo klein mogelijk te maken. Dit komt erop neer dat men tracht gloeilichamen te maken die selectief in het zichtbare spectrale gebied stralen. In de jaren 1920 tot 1934 heeft men te dien einde een diepgaand onderzoek ingesteld naar de stralingseigenschappen van hoogsmeltende oxydische materialen, speciaal op keramische basis, maar ondanks de rijke oogst van experimentele gegevens leidden deze onderzoekingen niet tot een afgerond beeld en wijzen ze niet de weg waarlangs men essentiële verbeteringen kan hopen te bereiken.

Als wij in hetgeen volgt de lichtopwekking met selectieve thermische stralers opnieuw aan de orde stellen, dan lijkt ons dit gerechtvaardigd door twee factoren: ten eerste laat de vooruitgang op het gebied van de vastestoffysica een dieper inzicht in het probleem verwachten, en ten tweede kan men tegenwoordig door onderzoekingen aan monokristallen beter gedefinieerde gegevens krijgen dan vroeger bij het onderzoek aan polykristallijne materialen mogelijk was.

Fysische grondslagen

De spectrale energieverdeling van een zwart lichaam wordt gegeven door de bekende wet van Planck:

$$E_0(\lambda,T) = \frac{c_1\lambda^{-5}}{\exp\left(\frac{c_2}{\lambda T}\right) - 1}, \quad \ldots \quad (1)$$

met de twee constanten

$$c_1 = 2hc^2 = 1{,}19 \times 10^{-16}\ \mathrm{Wm^2},$$

$$c_2 = \frac{hc}{k} = 1{,}438 \times 10^{-2}\ \mathrm{m\ graad}$$

(h = constante van Planck, c = lichtsnelheid, k = constante van Boltzmann).

De energieverdeling van een werkelijke straler kan men schrijven in de vorm:

$$E = \varepsilon E_0. \quad \ldots \ldots \quad (2)$$

De factor ε, de zg. emissiecoëfficiënt, hangt in het algemeen af van de golflengte λ, de temperatuur T en de hoek Θ waaronder de energie wordt uitgestraald. De wet van Kirchhoff brengt de emissiecoëfficiënt in verband met de optische eigenschappen van de straler. Deze wet luidt eenvoudig:

$$\varepsilon\,(\lambda,T,\Theta) = A\,(\lambda,T,\Theta), \quad \ldots \quad (3)$$

*) Philips Zentrallaboratorium GmbH, Laboratorium Aken.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

waarbij A de absorptiecoëfficiënt van het stralend lichaam is, d.w.z. de fractie van de op het lichaam vallende straling die hierdoor wordt geabsorbeerd. Als gevolg van de wet van Kirchhoff kan de emissiecoëfficiënt nooit groter worden dan 1, en dus blijft de spectrale emissie van een werkelijk lichaam steeds beneden die van een zwart lichaam op dezelfde temperatuur. We noemen een lichaam niet-selectief indien ε onafhankelijk van λ is. Soms worden lichamen met een dergelijke, van de golflengte onafhankelijke, emissiecoëfficiënt ook aangeduid als „grijze stralers".

Het lichtrendement van een straler is gedefinieerd als het quotiënt van de lichtstroom en het toegevoerde vermogen. Het lichtrendement van een thermische straler kan dus berekend worden uit de formule:

$$\eta(T) = \frac{\int_0^\infty V(\lambda)\ \varepsilon(\lambda,T)\ E_0(\lambda,T)\ \mathrm{d}\lambda}{\int_0^\infty \varepsilon(\lambda,T)\ E_0(\lambda,T)\ \mathrm{d}\lambda\ (+E_v)} \quad . \quad . \quad (4)$$

Hierbij is $V(\lambda)$ het fotometrische stralingsequivalent (ooggevoeligheid) in lm/W, dat bij 555 nm zijn grootste waarde bereikt, nl. 682 lm/W. Door de term E_v in de noemer worden de verliezen ten gevolge van warmtegeleiding, convectie, voorschakelapparaten enz. gezamenlijk in rekening gebracht. De emissiecoëfficiënt hangt meestal slechts weinig van de hoek af, en deze afhankelijkheid is dan ook in de formule verwaarloosd.

Het rendement van een thermische straler met constante (of bijna constante) waarde van ε kan volgens verg. (4) slechts worden verhoogd door verhoging van de gloeitemperatuur. Berekent men het rendement als functie van de temperatuur voor een dergelijke grijze straler, dan krijgt men een kromme als in *fig. 1* is weergegeven. De kromme heeft een maximum van 95 lm/W bij een temperatuur van ongeveer 6000 °K, dat is ongeveer de temperatuur van de zon. De huidige met gas gevulde wolfraamgloeilampen werken bij temperaturen van ca. 2800 °K en leveren dan ca. 12 lm/W (deze waarde geldt voor een 100-W-lamp); ca. 97% van het opgenomen vermogen wordt in het infrarood uitgestraald! De gloeitemperatuur kan niet hoger worden opgevoerd ten gevolge van de sterk toenemende verdamping, alhoewel de toepassing van transportreacties, zoals b.v. het wolfraam-jodium-proces, hier nog nieuwe mogelijkheden heeft geopend [1]). Door middel van dit kringproces wordt het verdampte wolfraam naar de gloeidraad teruggebracht, die dientengevolge op hogere temperatuur mag gloeien dan tot dusver. Maar ook al gebruikt men dergelijke kringprocessen, dan komt men toch tot een natuurlijke grens, aangezien er geen stoffen bestaan met een smeltpunt hoger dan ca. 4000 °K. Zou men erin slagen een gloeilamp te maken met de stoffen die het hoogste smeltpunt bezitten, zoals TaC en ZrC ($T_s \approx 4100$ °K), en zou men deze stoffen kunnen laten gloeien vlak onder hun smeltpunt, b.v. op 3700 °K, dan zou men een lichtrendement hebben van ongeveer 50 lm/W. Dit lijkt wel de bovenste grens van wat met niet-selectieve vaste stralers te bereiken is.

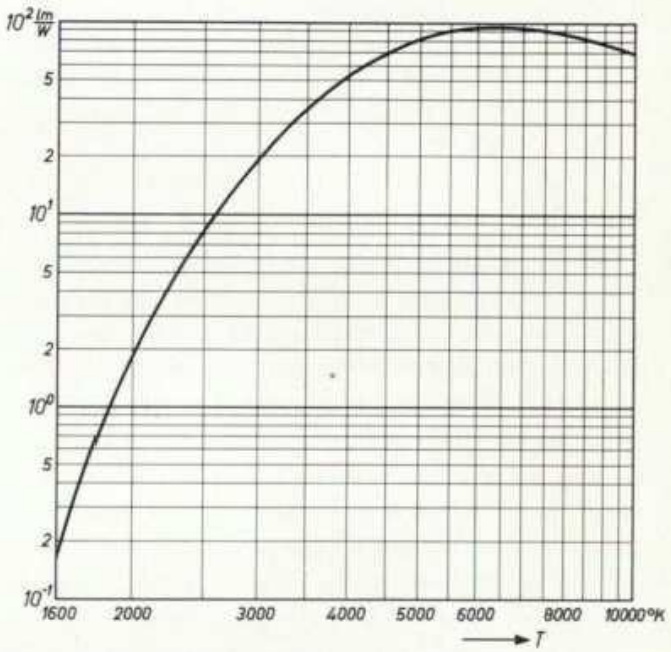

Fig. 1. Het lichtrendement van een grijs (of zwart) lichaam als functie van de temperatuur T.

Een aanzienlijke rendementsverbetering ten opzichte van de thans gefabriceerde gloeilampen zou volgens verg. (4) mogelijk zijn als men $\varepsilon(\lambda,T)$ voor alle golflengten die fotometrisch niets bijdragen, gelijk aan nul kon maken. Er wordt dus geëist:

$$\varepsilon \approx 1 \text{ voor } \lambda < 700\,\text{nm}, \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (5a)$$

$$\varepsilon \approx 0 \text{ voor } \lambda > 700\,\text{nm}. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (5b)$$

Een afzonderlijke eis voor het ultraviolette gebied ($\lambda < 400$ nm) behoeven we niet te stellen, omdat in dit gebied slechts een kleine fractie van de totale energie wordt uitgestraald. Zou men aan de voorwaarden (5) kunnen voldoen, dan zou men bij de gebruikelijke gloeitemperaturen lichtrendementen van om en nabij 200 lm/W krijgen, dus nog aanzienlijk meer dan men tegenwoordig bij de beste (niet-thermische) lichtbronnen heeft (natriumlampen 130 lm/W, fluorescentielampen 70 lm/W).

[1]) Zie b.v. J.W. van Tijen en J.J. Balder, Gloeilampen met jodiumhoudend vulgas, Philips techn. T. **23**, 217-225, 1961.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Bij de praktische uitvoering van een selectieve straler is het van het grootste belang de emissiecoefficiënt in het infrarood, vooral in het n a b ij e infrarood, uiterst klein te maken. Dit wordt door *fig. 2* geïllustreerd. Hierin is uitgezet het lichtrendement van stralers op $T = 2000$, 2500 en 3000 °K, berekend met de aanname dat de emissiecoëfficiënt voor golflengten boven 700 nm niet gelijk aan nul is, maar een constante waarde $\bar{\varepsilon}$ heeft, die hier als abscis is uitgezet. Men ziet dat voor behoorlijk grote waarden van het lichtrendement de emissiecoëfficiënt in het infrarood kleiner dan 10^{-2} moet zijn, in het bijzonder als we de straler op relatief lage temperatuur moeten laten gloeien.

Als grensgolflengte in verg. (5) hebben wij 700 nm gekozen omdat dan het resulterende licht vrijwel wit van kleur is en een goede kleurweergave levert. Wil men ter wille van een hoog rendement genoegen nemen met een minder goede kleurweergave, dan kan men een lagere grensgolflengte kiezen, b.v. 600 nm; men krijgt dan het bovenste stel krommen in fig. 2. Hierbij komt men tot lichtrendementen van meer dan 400 lm/W, maar eveneens slechts onder de voorwaarde dat $\bar{\varepsilon}$ voor golflengten boven de thans gekozen grensgolflengte zeer klein is.

Aan de eisen verg.(5) kan men op twee principieel verschillende manieren voldoen, nl. of met een in het infrarood „doorzichtige" straler, of met een in het infrarood zeer goed reflecterende (metallieke) straler. Heeft men een plaatje ter dikte d, dan geldt voor de emissiecoëfficiënt loodrecht op het oppervlak

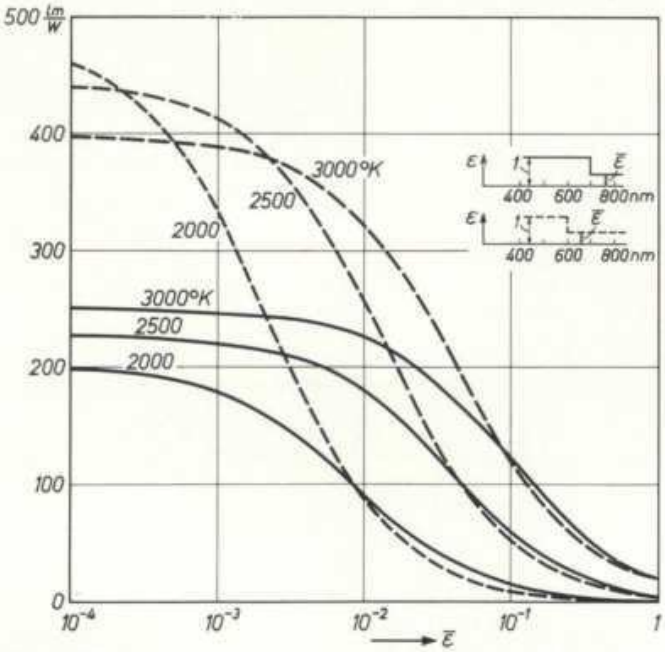

Fig. 2. Het lichtrendement van een selectieve straler met discontinu verloop van de emissiecoëfficient, bij drie verschillende temperaturen, als functie van de waarde van de emissiecoëfficiënt $\bar{\varepsilon}$ in het infrarood. Bij de getrokken krommen is $\varepsilon = 1$ voor $\lambda \leq 700$ nm, bij de gestippelde krommen is $\varepsilon = 1$ voor $\lambda \leq 600$ nm.

hiervan, als men ook rekening houdt met meervoudige inwendige reflexies, de algemene formule:

$$\varepsilon = \frac{(1-R)\,[1-\exp(-ad)]}{1-R\,\exp(-ad)}, \quad \ldots \quad (6)$$

waarbij de reflexiecoëfficiënt R van een grensvlak wordt gegeven door de bekende betrekking:

$$R = \frac{(n-1)^2 + K^2}{(n+1)^2 + K^2}. \quad \ldots \quad (7)$$

Hierin is a de zg. extinctiecoëfficiënt (d.w.z. de absorptie per eenheid van laagdikte) en er geldt $a = 4\pi K/\lambda$; n is de brekingsindex.

Voor een doorzichtig plaatje geldt $ad \ll 1$. Hiermee volgt uit verg.(6), als men de exponentiële functie in een reeks ontwikkelt en de termen Rad en R verwaarloost:

$$\varepsilon \approx ad. \quad \ldots \quad (8)$$

Dit verband heeft men dus in het gebied $\lambda > 700$ nm bij de selectieve straler van de eerste soort, die in het infrarood doorzichtig is of althans slechts weinig absorbeert.

Voor een sterk reflecterend (metallisch) plaatje daarentegen, met $R \approx 1$ en $ad \gg 1$, vindt men uit verg.(6):

$$\varepsilon = 1 - R. \quad \ldots \quad (9)$$

Dit verband heeft men dus in het gebied $\lambda > 700$ nm bij de selectieve straler van de tweede soort, die in het infrarood sterk reflecteert.

Ten slotte bestaat nog de tot dusver weinig opgemerkte mogelijkheid de energieverdeling van een straler te beïnvloeden door selectieve filters, en wel in dier voege dat het filter het zichtbare licht onverzwakt doorlaat, terwijl de infrarode straling door het filter teruggekaatst wordt naar het gloeilichaam en hierdoor weer wordt geabsorbeerd. Het vermogen dat men aan het gloeilichaam moet toevoeren voor het gloeien op een gegeven temperatuur, kan dan naar verhouding worden verlaagd, zodat het lichtrendement groter wordt. Deze kunstgreep is natuurlijk niet tot grijze of zwarte stralers beperkt, maar kan ook bij beide hierboven genoemde vormen van selectieve stralers worden toegepast om nog een extra-verbetering te krijgen.

Van de nu volgende drie hoofdstukken zal het eerste handelen over de doorzichtige selectieve straler. Van de fysische grondslagen hiervan is onlangs een uitvoerig overzicht gegeven [2]). We zullen ons hier beperken tot enige principiële beschouwingen. Het resultaat hiervan zal zijn dat de toepassing van een doorzichtige selectieve straler voor een praktische lamp weinig vooruitzichten biedt. Er bestaan

[2]) R. Groth en E. Kauer, Lichterzeugung mittels thermischer Selektivstrahler, Z. angew. Physik **16**, 130-143, 1963 (no. 2).

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

daarentegen wèl goede mogelijkheden voor de metallieke selectieve straler, die in het hierna volgende hoofdstuk (blz. 358) uitvoerig zal worden beschouwd, en hetzelfde geldt voor de toepassing van de infrarood reflecterende filters, waaraan het laatste hoofdstuk (blz. 361) is gewijd.

De doorzichtige selectieve straler

De groep materialen die als grondstof voor een in het infrarood doorzichtige selectieve straler in aanmerking komen, wordt, zoals we hebben gezien, gekenmerkt door de verg. (5) en (8). Deze materialen zijn isolatoren en halfgeleiders, die bestand moeten zijn tegen gloeitemperaturen van ongeveer 2500 °K. Dergelijke stoffen hebben bij voldoend korte golven, dus voor fotonen met grote energie, altijd een gebied van sterke absorptie. Deze absorptie wordt veroorzaakt doordat elektronen van de hoogste bezette energieband (valentieband) ten gevolge van optische excitatie gebracht worden naar de laagste onbezette energieband (geleidingsband; zie *fig. 3*).

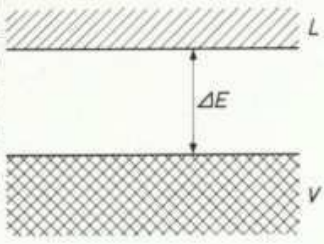

Fig. 3. Energiebandenschema van een halfgeleider. *V* valentieband, waarvan alle niveaus in de normale toestand met elektronen zijn bezet. *L* geleidingsband, waarvan alle niveaus in de normale toestand leeg zijn. ΔE bandafstand, waaraan in het absorptiespectrum de absorptiekant beantwoordt.

Willen we dat de stof doorzichtig is in het infrarood, dan moeten we eisen dat de bandafstand ΔE bij de gloeitemperatuur groter is dan 1,8 eV, welke waarde beantwoordt aan een golflengte van 700 nm. In verband met het feit dat de chemische bindingen met toenemende temperatuur losser worden, neemt de bandafstand met toenemende temperatuur in het algemeen af; de temperatuurcoëfficiënt is gemiddeld -5×10^{-4} eV/graad. Brengt men dit in rekening, dan moet de bandafstand bij kamertemperatuur $\Delta E \geqq 2{,}8$ eV zijn. Bij zulk een waarde van ΔE is een halfgeleider in zuivere toestand in het gehele zichtbare spectrale gebied doorlatend, dus kleurloos (resp. als poeder wit).

Uit fig. 2 hebben wij reeds geconcludeerd dat voor hoge lichtrendementen de emissiecoëfficiënt in het infrarood kleiner dan 10^{-2} moet zijn, dus volgens verg. (8): $ad \leqq 10^{-2}$. Anderzijds moet in het zichtbare gebied het materiaal zo goed mogelijk stralen, dus — afgezien van reflexieverliezen — zo zwart mogelijk zijn, waarvoor $ad \geqq 2$ moet worden geëist. Door combinatie van de twee eisen ziet men dat het materiaal, onafhankelijk van de dikte, moet voldoen aan:

$$\frac{a_{\text{zichtbaar}}}{a_{\text{infrarood}}} \geqq 2\times10^{2}. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (10)$$

We zullen hieronder zien dat het moeilijk is aan deze voorwaarde te voldoen. Het is nl. vrijwel niet te vermijden dat in het infrarood bij hoge temperaturen een zekere absorptie optreedt, b.v. $a = 10\ \text{cm}^{-1}$, en volgens verg. (10) moet a in het zichtbare gebied dan op zijn minst $2\times10^{3}\ \text{cm}^{-1}$ bedragen. Zulk een sterke absorptie vindt men in het algemeen slechts in het gebied van de absorptiekant ($h\nu \geqq \Delta E$); door dotering, d.w.z. door het bewust aanbrengen van absorberende vreemde atomen in het rooster van een halfgeleider, is zulk een absorptie nauwelijks realiseerbaar.

We zullen nu de verschillende absorptieprocessen die voor het rendement van een selectieve straler van belang zijn, meer in detail bespreken. *Fig. 4* geeft er een schematisch overzicht van. In hoofdzaak gaat het om:

1) absorptie door roostertrillingen,
2) absorptie door vrije ladingdragers,
3) absorptie door roosterfouten, inclusief de fouten kunstmatig veroorzaakt door dotering,
4) absorptie in het gebied van de absorptiekant.

Bij de eerste soort absorptie heeft men te maken met de wisselwerking van elektromagnetische golven met dipolen van het kristalrooster, bij de soorten (2) tot (4) met de wisselwerking met vrije of gebonden elektronen van de vaste stof.

Terwijl de absorptieprocessen (1) en (2) voor de doorzichtige selectieve straler principieel nadelig zijn, kunnen de processen (3) en (4), door „zwarting" in het zichtbare gebied, ook een gunstige uitwerking hebben.

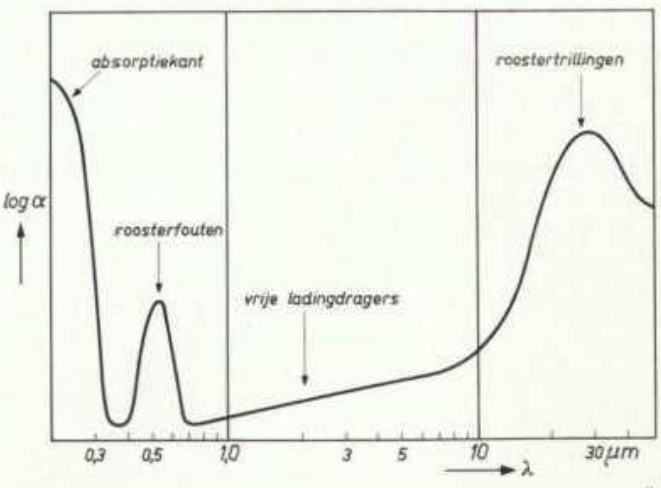

Fig. 4. Schematische voorstelling van de spectrale gebieden waarin zich de invloed doet gevoelen van de verschillende absorptiemechanismen van een selectieve straler. De zogenaamde absorptiekant (geheel links) en de absorptie door roosterfouten dragen bij tot de absorptie in het zichtbare gebied en zijn daardoor in het algemeen nuttig. De andere absorptiemechanismen daarentegen zijn schadelijk.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

1) *Absorptie door roostertrillingen*

De sterke absorptie bij lange golven die men bij alle ionenkristallen waarneemt, berust op roostertrillingen, d.w.z. op trillingen van het deelrooster der positieve ionen tegen dat der negatieve ionen. Tegelijk met deze absorptie treedt een sterke metallieke reflexie op; bepaalde ionenkristallen worden derhalve vaak gebruikt om door reflexie het langgolvige gebied (de „rest") van het spectrum te isoleren. Om deze reden wordt de absorptieband in dit gebied ook veelal als reststralenband aangeduid.

Volgens de klassieke theorie [3]) is voor de roostertrillingen van kubische kristallen slechts een enkele resonantiefrequentie te verwachten, nl.:

$$\nu_0 = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{2r(M_1 + M_2)}{M_1 M_2}}, \quad . \quad . \quad . \quad (11)$$

met r = bindingsconstante, M_1 en M_2 = massa van resp. de positieve en de negatieve ionen. Deze frequentie ligt meestal reeds ver in het infrarood. De kortgolvige uitlopers van deze reststralenbanden kunnen zich echter tot in het nabije infrarood uitstrekken en daar stralingsverliezen veroorzaken die in de energiebalans niet meer mogen worden verwaarloosd. De schadelijke invloed van deze uitlopers kan men reduceren door ervoor te zorgen dat het zwaartepunt van de absorptiebanden bij zo lang mogelijke golven komt te liggen. Volgens verg. (11) lukt dit het best bij stoffen die samengesteld zijn uit zware ionen en die een kleine bindingsconstante, d.w.z. een laag smeltpunt hebben. Hier komen we al in conflict met onze oorspronkelijke bedoelingen: de tweede eis is immers niet te verenigen met een hoge gloeitemperatuur van de selectieve straler.

De invloed van de roostertrillingen op het lichtrendement kan volgens verg.(4) worden berekend indien $\varepsilon(\lambda,T)$, d.w.z. de absorptiecoëfficiënt als functie van golflengte en temperatuur bekend is.

Theoretische uitspraken over de golflengte-afhankelijkheid van de absorptie door roostertrillingen in het gebied van de kortgolvige uitloper zijn niet goed mogelijk. Daartoe zou men het volledige spectrum van de roostertrillingen nauwkeurig moeten kennen en zich heel wat rekenwerk moeten getroosten. We zijn er daarom op aangewezen de absorptie voor alle in aanmerking komende gevallen door meting te bepalen, liefst tot de gewenste gloeitemperaturen.

In *fig. 5* is het resultaat van dergelijke absorptiemetingen voor verschillende kristallen bij kamertemperatuur en bij 2000 °K weergegeven. De onderzochte stoffen zijn, in volgorde van gebleken voordeligheid: ThO_2, MgO, ZrO_2 met 10% CaO, en Al_2O_3. De absorptiecoëfficiënten nemen in alle gevallen lineair met de temperatuur toe. We zijn hiermee in staat een limietwaarde voor het rendement aan te geven die door de roostertrillingen wordt bepaald. Hiervoor nemen we aan dat door geschikte dotering de emissiecoëfficiënt in het zichtbare gebied wordt verhoogd tot $\varepsilon \approx 1$, zonder dat door deze dotering een extra uitstraling in het nabije infrarood optreedt. We beschouwen derhalve het nabije infrarood voorlopig als vrij van absorptie en berekenen nu volgens verg.(4) het rendement voor kristalplaatjes van verschillende dikte, nl. 0,2, 0,5 en 1 mm. Het zou natuurlijk van voordeel zijn met nog dunnere plaatjes te werken, maar deze komen toch niet in aanmerking omdat ze mechanisch te zwak worden. Het resultaat van de berekening voor magnesiumoxyde MgO wordt door de getrokken krommen van *fig. 6* weergegeven. Het lichtrendement neemt sterk toe met de temperatuur. Het bedraagt bij het dunste plaatje slechts 33 lm/W bij 2000 °K, maar reeds 100 lm/W bij 2400 °K. Deze aanzienlijke toeneming met de temperatuur berust hierop dat de fractie van de zichtbare straling (met $\varepsilon \approx 1$) snel toeneemt, terwijl de emissie door de roostertrillingen slechts lineair met de temperatuur stijgt.

Stellen we voorop dat de selectieve straler een lichtrendement moet hebben dat op zijn minst gelijk

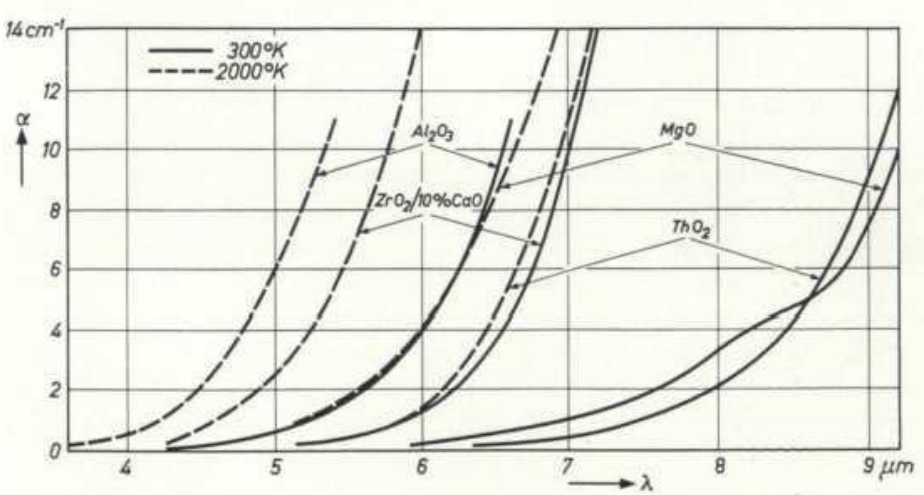

Fig. 5. Kortgolvige uitloper van de absorptie door de roostertrillingen bij enige hoogsmeltende oxydes, bij kamertemperatuur (getrokken krommen) en bij 2000 °K (geëxtrapoleerd gestippelde krommen).

[3]) M. Born, Atomtheorie des festen Zustandes, Teubner, Leipzig 1923.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

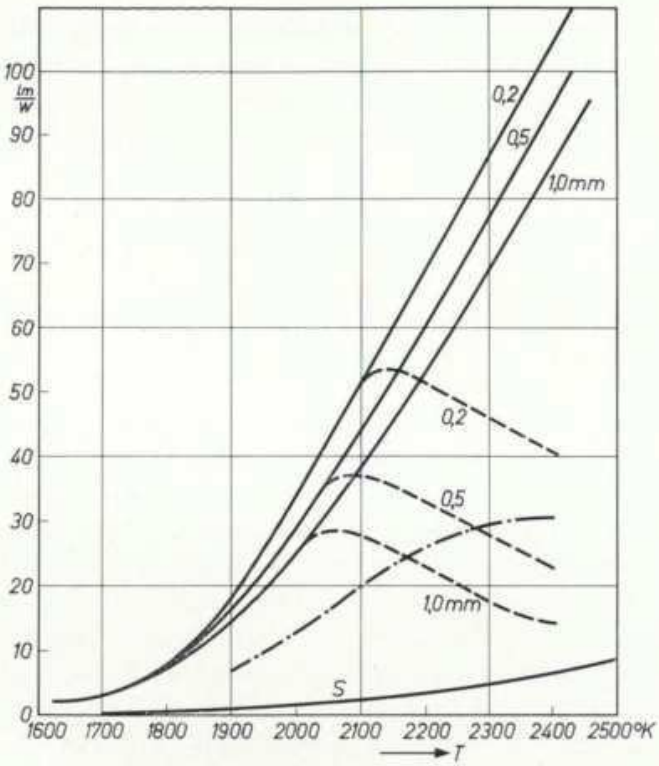

Fig. 6. Lichtrendement van selectieve stralers van magnesiumoxyde MgO van verschillende dikte, als functie van de temperatuur, en wel
a) rekening houdende met de roostertrillingen: getrokken krommen;
b) rekening houdende met roostertrillingen + absorptie door vrije ladingdragers: gestreepte krommen;
c) rekening houdende met roostertrillingen + absorptie door vrije ladingdragers + convectieverliezen: streep-stip-kromme.
Ter vergelijking is de kromme voor de zwarte straler (S) meegetekend.

is aan dat van een gloeilamp (ongeveer 15 lm/W), dan kunnen we uit fig. 6 nog een andere, voor hetgeen volgt belangrijke, conclusie trekken: gloeitemperaturen beneden 1900 °K komen wegens de te geringe straling van zichtbaar licht in het geheel niet in aanmerking. Hierbij is ondersteld dat de uitloper van de absorptie door roostertrillingen ook bij andere stoffen niet noemenswaard gunstiger ligt dan bij MgO, maar dit kan volgens fig. 5 en verg. (11) wel als zeker worden beschouwd. Het aantal in aanmerking komende stoffen wordt door de genoemde conclusie aanzienlijk beperkt. Er blijven in hoofdzaak slechts de hoogsmeltende oxydes over (ThO_2, HfO_2, ZrO_2, MgO, BeO) alsmede enkele nitrides (BN, AlN) en carbides (SiC, Al_4C_3).

Hoewel een rendement van 100 lm/W heel aanlokkelijk is, zien we toch dat alleen al door de roostertrillingen de waarden die wij onder geïdealiseerde voorwaarden hebben berekend (zie fig. 2), reeds een stuk omlaag worden gebracht. Daarbij is de situatie voor MgO nog relatief gunstig; alleen ThO_2 zou wellicht nog iets gunstiger uit de bus komen. Bij SiC en BN liggen de reststralenbanden bij ca. 12 μm, dus bij nog kortere golven dan bij de oxydes. Over de andere hoogsmeltende verbindingen is slechts weinig bekend. Er bestaat echter niet veel hoop hieronder stoffen te vinden die zich wat betreft de roostertrillingen veel gunstiger gedragen.

2) *Absorptie door vrije ladingdragers*

We hebben nog niets gezegd over de wijze waarop de selectieve straler moet worden verhit, maar we denken hierbij natuurlijk aan elektrische verhitting. Het daarvoor vereiste geleidingsvermogen krijgt men bij hoge temperaturen automatisch, zelfs bij materialen die in koude toestand uitstekende isolatoren zijn. Deze geleiding bij hoge temperaturen kan verschillende oorzaken hebben. Bij stoffen met een bandafstand van middelbare grootte (3-5 eV) krijgt men bij 2000 °K reeds een aanzienlijke intrinsieke geleiding, doordat elektronen door thermische excitatie uit de valentieband naar de geleidingsband worden overgebracht. Bij stoffen met grotere bandafstand speelt deze intrinsieke geleiding een geringere rol dan de geleiding die berust op roosterfouten, veroorzaakt door de warmtebeweging. Deze geleiding kan zowel te danken zijn aan elektronen alsook aan elektronen en ionen beide.

Voor onze beschouwingen is het nu van belang dat de voor deze geleiding verantwoordelijke vrije ladingdragers tevens een absorptie van elektromagnetische golven veroorzaken. Deze is, geheel op de bodem der klassieke theorie, voor het eerst berekend door Drude [4]). In het ons interesserende gebied van golflengten en temperaturen ($kT/h\nu \geqq 0{,}2$; $\nu = \omega/2\pi$ = frequentie van het licht) kloppen de resultaten van de klassieke theorie heel goed met die van de moderne quantummechanische theorie, mits de beweeglijkheid μ van de ladingdragers bepaald wordt door de verstrooiing aan de thermische roostertrillingen [5]). Bij hoge temperaturen is dit altijd het geval. Voor de extinctiecoëfficiënt a levert de theorie de vergelijking:

$$a = \frac{\gamma N e^2}{cm^* \varepsilon_0 n(\omega^2 + \gamma^2)}, \quad \ldots \quad (12)$$

met $\gamma = e/\mu m^*$ = dempingsconstante. Hierin is e de elementaire lading en N de dichtheid van de ladingdragers, ε_0 de diëlektrische constante van het vacuüm, m^* de effectieve massa van de ladingdragers [6]). Onder de voorwaarde dat $\omega^2 \gg \gamma^2$, vindt

[4]) P. Drude, Phys. Z. **1**, 161, 1900.
[5]) K.J. Planker en E. Kauer, Z. angew. Phys. **12**, 425, 1960.
[6]) De invloed van de periodieke potentiaal van het rooster op de beweging van de vrije ladingdragers kan in rekening worden gebracht door hieraan een effectieve massa toe te kennen, die in het algemeen kleiner is dan die van het vrije elektron. Over de exacte definitie van de effectieve massa, zie b.v. R.A. Smith, Semiconductors, Cambridge University Press 1961.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

men, als men nog het gelijkstroom-geleidingsvermogen $\sigma_0 = e\mu N$ invoert:

$$\frac{\alpha}{\sigma_0} = \frac{e^2}{\varepsilon_0 cn(\mu m^*)^2 \omega^2}. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (13)$$

Wil men de verhouding α/σ_0 zo klein mogelijk maken (we zullen straks nog nader zien dat dit gewenst is), dan zal men dus naar stoffen moeten zoeken met een zo groot mogelijke waarde van het produkt μm^*. We hebben echter gezien dat de keuze reeds beperkt werd door de smelttemperatuur. Voor de meeste in aanmerking komende stoffen is aan de voorwaarde $\omega^2 \gg \gamma^2$ niet voldaan. Ten gevolge van de meestal zeer kleine beweeglijkheid, speciaal bij hoge temperaturen, wordt integendeel juist $\gamma^2 \gg \omega^2$ en er geldt:

$$\frac{\alpha}{\sigma_0} = \frac{1}{\varepsilon_0 cn}. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (14)$$

Deze verhouding wordt dus onafhankelijk van de waarde van het produkt μm^* en van de golflengte.

We beschouwen weer ons modelmateriaal magnesiumoxyde. In *fig. 7* is de infraroodabsorptie van

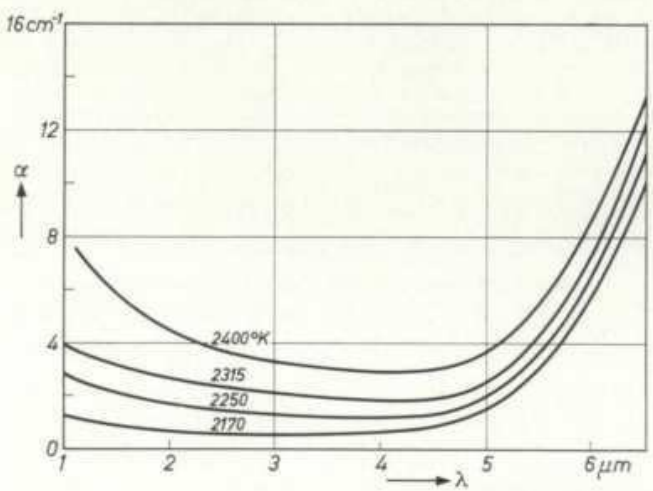

Fig. 7. Absorptie in het infrarood door vrije ladingdragers in ongedoteerde MgO-kristallen, als functie van de golflengte, bij verschillende temperaturen.

niet-gedoteerde kristallen van dit materiaal bij hoge temperatuur uitgezet. In het golflengtegebied van 1 tot 5 μm is de absorptie vrijwel constant. In overeenstemming hiermee is het dat de absorptie evenredig blijkt te zijn met het geleidingsvermogen; de verhouding α/σ_0, die 240 Ω bedraagt, klopt ook goed met de theoretische verwachting. Het toenemen van de absorptie bij langere golven wordt veroorzaakt door de uitloper van de roostertrillingen, terwijl bij kortere golven en hogere temperatuur een absorptie ten gevolge van de roosterfouten (het absorptieproces (3)) merkbaar wordt.

De invloed van de vrije ladingdragers doet zich terdege gevoelen. Brengen we hem in verg.(4) in rekening, dan krijgen we in fig. 6 de gestippeld getekende krommen, met een maximum van 52 lm/W, bij een gloeitemperatuur van ca. 2100 °K, voor het dunste beschouwde plaatje (0,2 mm). Ten gevolge van de exponentiële toeneming van de absorptie door de vrije dragers neemt het rendement bij hogere temperaturen weer af.

Met het oog op de absorptie door de vrije dragers is speciaal het siliciumcarbide SiC interessant. In tegenstelling met de andere materialen zijn voor SiC de effectieve massa's en de beweeglijkheden van de dragers voldoende nauwkeurig bekend. Aangezien het gaat om een intrinsieke geleiding, is een extrapolatie van de waarden die gemeten zijn bij 1300 °K, zeker toelaatbaar. We zijn derhalve in staat het lichtrendement als functie van de gloeitemperatuur en van de laagdikte van de straler exact te berekenen. Aangezien echter aan de gloeitemperatuur van de straler een bovenste grens van 2000 °K is gesteld, kunnen we het probleem ook omkeren en vragen naar de laagdikte die nodig is om een bepaald lichtrendement te verkrijgen. De berekening leert dat bij 2000°K voor een lichtrendement van slechts 20 lm/W de laagdikte reeds niet meer mag bedragen dan 2 μm. Een laag ter dikte van enkele μm komt alleen al om redenen van mechanische sterkte praktisch niet in aanmerking, nog afgezien van de gevolgen van de materiaalverliezen door verdamping.

Wegens de schadelijke invloed van de vrije ladingdragers is herhaaldelijk het idee geopperd, uit te gaan van stoffen waarin de ionengeleiding overheerst. Dank zij de grote effectieve massa van de ionen, die in dit geval als de vrije ladingdragers zijn te beschouwen, zou men dan volgens verg. (12) een gunstige situatie kunnen verwachten. In het geval van ionengeleiding wordt echter het voordeel van de grote effectieve massa grotendeels teniet gedaan door het nadeel van de aanzienlijk kleinere beweeglijkheid. Bovendien is het twijfelachtig of verg. (12) voor het geval van ionengeleiding, die berust op thermisch geactiveerde plaatsruilprocessen, nog geldt.

Zolang we met intrinsieke geleiding te maken hebben, is een gunstige beïnvloeding van de absorptie door de vrije ladingdragers door middel van dotering principieel niet mogelijk. Hebben we te maken met een intrinsieke geleiding door roosterfouten, nl. bij afwijkingen van de stoïchiometrische samenstelling, dan kan het geleidingsvermogen binnen zekere grenzen worden gevarieerd, b.v. bij oxydes door variatie van de partiële zuurstofdruk. Veel speling hierin heeft men echter niet, daar de toepassing van zeer hoge drukken wordt beperkt

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

door praktische overwegingen en de toepassing van zeer lage drukken door de toenemende dissociatie.

3) en 4) *Absorptie door roosterfouten en in het gebied van de absorptiekant*

Bij alle bovenstaande berekeningen hebben wij ondersteld dat in het zichtbare gebied aan de voorwaarde $\varepsilon \approx 1$ kan worden voldaan zonder dat daarbij ook een extra-absorptie in het infrarood optreedt. Dit is slechts in zeldzame gevallen enigszins in overeenstemming met de feiten. Zulk een geval heeft men b.v. bij α-SiC, dat bij kamertemperatuur een bandafstand heeft van 2,86 eV en derhalve in ongedoteerde toestand nagenoeg kleurloos is. Bij verhoging van de temperatuur verschuift de absorptiekant met de op blz. 352 reeds genoemde temperatuurcoëfficiënt van -5×10^{-4} eV/graad, zodat het kristal kleur krijgt. *Fig. 8* laat zien hoe de absorptiekant met de temperatuur verschuift; bij een gloeitemperatuur in de buurt van 2000 °K komt de kant precies op de juiste plaats te liggen, nl. op de grens tussen het zichtbare en het infrarood. De met deze verschuiving van de absorptiekant gepaard gaande verandering in de selectiviteit van de straling is bij voldoend dunne kleurloze SiC-kristallen goed waar te nemen. Zulke kristallen beginnen bij ongeveer

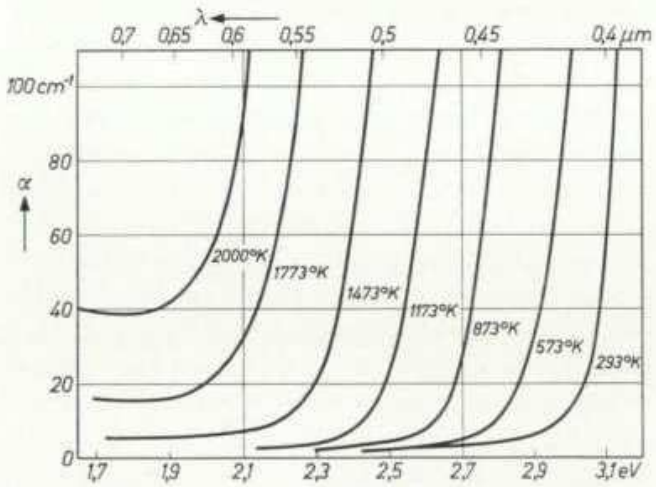

Fig. 8. Absorptiekant van hexagonale siliciumcarbidekristallen bij verschillende temperaturen (de kristallen werden doorstraald in richting van de c-as).
(Uit R. Groth en E. Kauer, Physica status solidi 1, 445, 1961.)

1100 °K met een blauwachtige kleur te stralen, terwijl de kleur bij hogere temperaturen via groengeel overgaat naar geel (zwarte straling). Soortgelijke verschijnselen zijn door Mollwo waargenomen aan ZnO-kristallen [7]).

In *fig. 9* is een gloeiend SiC-kristal afgebeeld waarvan de dikte in de kijkrichting ongeveer 0,5 mm bedraagt. Door het plaatje wordt een zodanige stroom gestuurd dat dit een temperatuur krijgt van ongeveer 1400 °K, waarbij de absorptiekant (ΔE) volgens fig. 8 vrijwel in het midden van het zichtbare gebied komt te liggen. Bij fotonenenergieën $h\nu > \Delta E$ is $\alpha d > 1$, bij energieën $h\nu < \Delta E$ daarentegen is $\alpha d \ll 1$. Dientengevolge emitteert het kristal in hoofdzaak het groenblauwe gedeelte van het spectrum van een zwart lichaam op 1400 °K. Het kristal bevat echter enkele verontreinigingen, die reeds in de koude toestand als lichtabsorberende vlekjes in het overigens kleurloze kristal te zien zijn. Binnen deze vlekjes

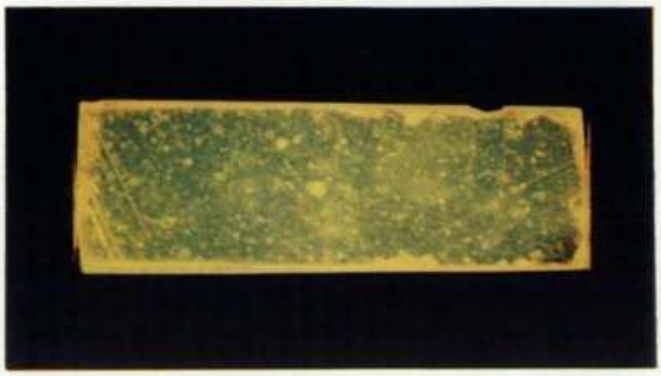

Fig. 9. Selectieve straler van SiC bij $T \approx 1400$ °K. De ongestoorde gedeelten van het kristalplaatje geven ten gevolge van de ligging van de absorptiekant (zie fig. 8) een groenblauwe straling. De verontreinigde gedeelten daarentegen stralen bij benadering als een zwart lichaam, zien er dus geelachtig uit. De begrenzingen van het kristal ziet men ten gevolge van de buiging van straling die uit een veel grotere laagdikte komt eveneens in een geelachtige kleur.

is ook voor $h\nu < \Delta E$ de absorptie sterk, d.w.z. $\alpha d \geqq 1$. De straling van deze vlekjes lijkt dus zeer op die van een zwart lichaam met de temperatuur van het kristal, dat is in dit geval 1400 °K, en de vlekjes verschijnen daardoor op de foto fig. 9 in een geelachtige kleur. Kijkt men nu op de smalle kant van het kristal, dan is de dikte in de kijkrichting veel groter, nl. 3 mm. Ook bij het niet-verontreinigde kristal geldt dan niet meer dat $\alpha d \ll 1$ voor fotonenenergieën $h\nu < \Delta E$. Het kristal straalt dus in die richting ongeveer als een zwart lichaam. Ook dit effect is in fig. 9 duidelijk te zien, hoewel deze foto gemaakt is kijkende op de brede kant van het kristal. Aan het kristaloppervlak wordt nl. de op de lange weg van 3 mm ontstane zwarte straling voor een deel naar de kijkrichting afgebogen. Daardoor ziet men de kristalbegrenzing in een geelachtige kleur, evenals de foutjes in het inwendige van het kristal.

Dat de absorptiekant bij SiC zo gunstig ligt, moet als een gelukkig toeval worden beschouwd. In de meeste andere gevallen is men erop aangewezen een absorptie in het zichtbare gebied teweeg te brengen door dotering met overgangsmetalen of met zeldzame aarden. Het verloop van de absorptiekromme naar de zijde van de lange golven is dan veel minder abrupt dan in het geval van een absorptiekant. Een

[7]) E. Mollwo, Z. angew. Phys. **6**, 257, 1954.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

klassiek voorbeeld hiervoor is de Auer-gloeikous, die voor gaslicht wordt gebruikt. Hij bestaat uit een ThO_2-skelet, dat als warmtereservoir dient, en hij bevat ceriumatomen, die zich op thoriumroosterplaatsen bevinden en die zorgen voor de absorptie in het zichtbare gebied. In *fig. 10* is de emissiecoëfficiënt van de gloeikous als functie van de golflengte weergegeven voor verschillende ceriumconcentraties. De ongedoteerde gloeikous straalt slechts weinig uit en is nauwelijks selectief. De dotering met cerium, die optimaal ongeveer 0,5% bedraagt, heeft het optreden van een absorptieband in het blauwgroen tot gevolg. Bij hogere percentages Ce neemt de emissiecoëfficiënt in het infrarood sterk toe, waarbij de gunstige eigenschappen van de gloeikous vrijwel volledig verloren gaan.

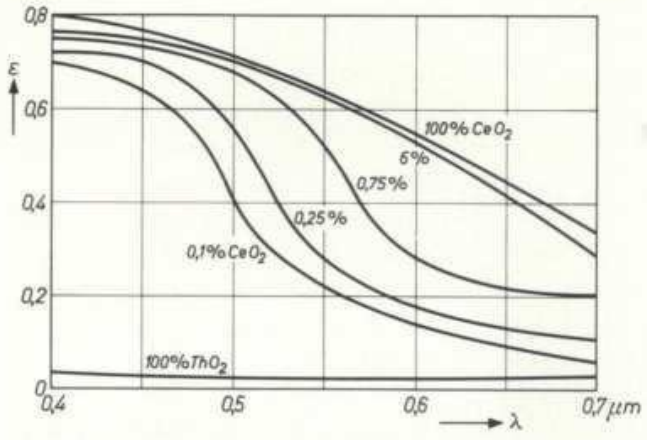

Fig. 10. Spectrale emissiecoëfficiënt ε van polykristallijne ThO_2-CeO_2-skeletten van verschillende samenstelling.
(Volgens H.E. Ives, E.T. Kingsburry en E. Karrer, J. Franklin Inst. **186**, 401, 585, 1918.)

Men heeft getracht gloeilichamen uit Auer-massa te vervaardigen die elektrisch konden worden verhit en dus voor gloeilampen konden worden toegepast. Door verschillende oorzaken hebben deze pogingen niet het gewenste resultaat opgeleverd. Ten eerste kon bij de praktische uitvoering van het gloeilichaam niet de kleine laagdikte worden gerealiseerd die vereist is om de, op zichzelf gunstige, eigenschappen van de Auer-gloeikous tot hun recht te doen komen. Maar zelfs al zou men deze laagdikte kunnen realiseren, dan zou het gloeilichaam bij zijn normale gloeitemperatuur van 1800 °K een lichtrendement bezitten dat ver beneden dat van de huidige gloeilampen ligt. Met elektrische verhitting kan men wel tot hogere gloeitemperaturen overgaan, maar de situatie zou hierdoor in dit geval niet noemenswaard worden verbeterd. Door de bij temperatuurverhoging toenemende absorptie door vrije ladingdragers zou nl. de aanvankelijk kleine emissiecoëfficiënt in het infrarood snel toenemen. Bij de voor gloeilampen normale temperaturen zou het Auer-gloeilichaam zich reeds bij benadering als zwart lichaam gedragen.

Dampdruk en convectieverliezen

We hebben ons tot dusver uitsluitend bezig gehouden met de energiebalans van een selectieve straler. Denkt men aan een praktische toepassing, dan spelen natuurlijk ook nog andere factoren een rol, zoals de dampdruk van de straler en in verband hiermee zijn levensduur. De beschouwingen die men hier kan houden, zijn geheel dezelfde als bij normale gloeilampen. Aangezien de opbrengst aan zichtbaar licht sterk stijgt met de temperatuur T, moet men deze zo hoog kiezen als de verdamping nog juist toelaat. De situatie is het best te overzien bij gloeien in vacuüm. Tussen de verdampte hoeveelheid materiaal w (in grammen) en de dampdruk p (in torr) bestaat hier de gaskinetische betrekking:

$$p = \frac{17{,}14\, w}{At} \sqrt{\frac{T}{M}}, \quad \ldots \quad (15)$$

waarbij A het oppervlak (in cm²), t de brandduur (in seconden) en M het molecuulgewicht is. Voor de maximaal toelaatbare dampdruk kan met behulp van deze vergelijking gemakkelijk een schatting worden gemaakt, mits men enkele onderstellingen invoert betreffende de geometrie van de straler, de te eisen levensduur en het toelaatbare materiaalverlies door de verdamping. Nemen we weer een kristalplaatje van 0,2 mm dikte, eisen we een levensduur van 1000 uren zoals voor de normale wolfraamlampen, en laten we gedurende deze levensduur een materiaalverlies van 10% toe, dan volgt uit verg. (15) een dampdruk van de orde van 10^{-7} torr. Met behulp van deze waarde kan nu, indien de dampdrukkromme van het materiaal bekend is, de maximaal toelaatbare gloeitemperatuur worden afgelezen. Helaas is onze kennis van de dampdrukken van hoogsmeltende oxydes nogal onvolledig en de resultaten van verschillende onderzoekers vertonen voor een deel aanzienlijke discrepanties. In *fig. 11* zijn de gegevens voor de dampdrukken van BeO, ZrO_2 en ThO_2 bijeengebracht; deze stoffen hebben van alle oxydes wel de laagste dampdrukken. Als we ons voor onze beschouwingen baseren op de dampdruk van ThO_2, dat algemeen als het meest stabiele oxyde in vacuüm wordt beschouwd, dan kan men ons zeker niet ervan betichten dat we de invloed van de dampdruk willen overdrijven. Maar zelfs voor dit oxyde, en met gebruik van de relatief lage door Shapiro gemeten waarden van de dampdruk, komen we onder de bovenvermelde onderstellingen tot een maximale gloeitemperatuur van niet meer dan 2000 °K. Het lichtrendement dat men hiermee kan verkrijgen, rekening houdende met de absorptie ten gevolge van de roostertrillingen (zie blz. 353), is veel te laag. Gloeien in

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

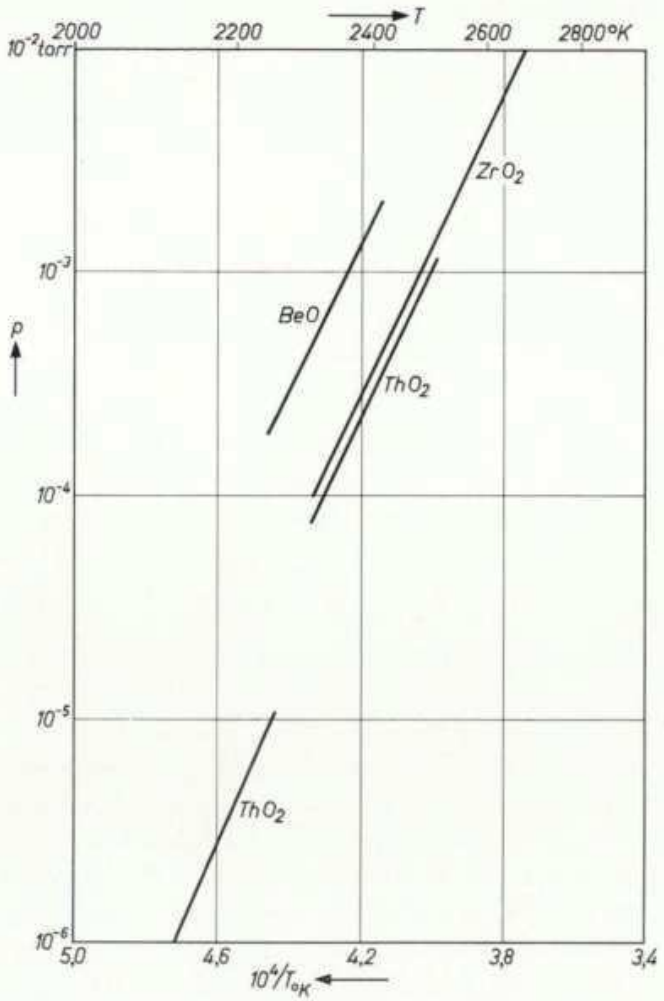

Fig. 11. Dampdruk p van BeO, ZrO_2 en ThO_2 als functie van de temperatuur.
BeO: volgens N. D. Erway en R. L. Slater, J. Electrochem. Soc. **98**, 83, 1951.
ZrO_2: volgens M. M. Nakata, R. L. McKisson en B. D. Pollack, U.S. Atomic Energy Commission, NAA-SR-6095, 1961.
ThO_2, bovenste kromme: eigen metingen.
ThO_2, onderste kromme: volgens E. Shapiro, J. Amer. Chem. Soc. **74**, 5233, 1952.

vacuüm komt dus voor een selectieve straler in het geheel niet in aanmerking.

Door toepassing van een gasatmosfeer kan, zoals bekend, de verdamping worden tegengegaan, zodat hogere gloeitemperaturen toelaatbaar worden. In dat geval krijgen we echter te maken met het probleem van de convectieverliezen. Bij de met gas gevulde wolfraamgloeilamp zijn deze verliezen klein ten opzichte van de stralingsverliezen in het infrarood. Bij de selectieve straler daarentegen, waarbij laatstgenoemde verliezen in hoge mate zijn onderdrukt en waarbij de gloeitemperatuur lager is, krijgen de convectieverliezen een beslissende betekenis. Beschouwen we weer het geval van magnesiumoxyde, waarvoor de krommen van fig. 6 gelden, en brengen we voor een bandvormig gloeilichaam van 3 mm breedte en 0,2 mm dikte de convectieverliezen in rekening (de term E_v in verg.(4)), dan krijgen we het in fig. 6 door een punt-streeplijn weergegeven resultaat. Het lichtrendement bedraagt nu maximaal niet meer dan 30 lm/watt, bij een gloeitemperatuur van ongeveer 2300 °K.

Resumerende kunnen wij zeggen dat met de hier onderzochte, in het infrarood doorzichtige materialen, rekening houdende met de technische mogelijkheden, geen selectieve straler kan worden gerealiseerd met een lichtrendement groter dan 30 lm/watt. Er is geen basis voor de hoop dat men onder de nog niet onderzochte of nog niet bekende materialen er een zou vinden dat bij toepassing als selectieve straler gunstiger resultaten zou kunnen leveren. De haalbare waarden van het lichtrendement zijn hierbij niet hoog genoeg om de inspanning voor de technisch zeker zeer moeilijke ontwikkeling van een dergelijke lichtbron te rechtvaardigen.

Metallieke selectieve stralers

Tot de metallieke selectieve stralers willen wij niet alleen de eigenlijke metalen rekenen, maar ook verbindingen met metalliek geleidingsvermogen, alsmede halfgeleiders die zo hoog gedoteerd kunnen worden dat reeds in het nabije infrarood een metallieke reflexie optreedt. In het algemeen zullen dergelijke stoffen ten gevolge van de absorptie door vrije ladingdragers reeds bij laagdikten van ongeveer 1 μm in het gehele zichtbare en infrarode gebied ondoorzichtig zijn.

Bij deze soort selectieve stralers dient in het ideale geval in het zichtbare gebied $R = 0$ te zijn, in het infrarood $R = 1$. De emissiecoëfficiënt is onder laatstgenoemde voorwaarde volgens verg.(9): $\varepsilon = 1-R$. We zullen in hetgeen volgt de reflexiecoëfficiënt R uitdrukken in bepaalde materiaalconstanten, en we zullen trachten na te gaan onder welke voorwaarden het bovengenoemde ideale geval bij benadering kan worden gerealiseerd.

Absorberende media kan men kenmerken door een complexe brekingsindex $n-jK$, waarbij K, zoals hierboven reeds werd vermeld, met de extinctiecoëfficiënt a samenhangt door de betrekking $a = 4\pi K/\lambda$. Voor een medium dat vrije ladingdragers bevat, gelden volgens de theorie van Drude [4]) de volgende dispersievergelijkingen:

$$n^2 - K^2 = \varepsilon_g - \frac{Ne^2}{m^*\varepsilon_0(\omega^2 + \gamma^2)}, \quad . \quad (16)$$

$$2nK\omega = \frac{\gamma Ne^2}{m^*\varepsilon_0(\omega^2 + \gamma^2)}. \quad . \quad (17)$$

Verg.(17) kan worden herleid tot verg.(12). De in de beide vergelijkingen gebruikte symbolen hebben ook dezelfde betekenis; in het bijzonder is γ weer de dempingsconstante. Door de term ε_g in verg. (16) wordt

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

de polariseerbaarheid van de gebonden ladingdragers in rekening gebracht: ε_g is de diëlektrische constante van het medium bij afwezigheid van vrije ladingdragers.

We kunnen de vergelijkingen (16) en (17) normeren door invoering van een karakteristieke frequentie:

$$\omega_p = \sqrt{\frac{Ne^2}{\varepsilon_0 \varepsilon_g m^*} - \gamma^2}, \quad . \quad . \quad (18)$$

die gedefinieerd is door de voorwaarde $n^2 - K^2 = 0$ en die men de plasmafrequentie noemt. (Het plasma van vrije elektronen kan ten gevolge van fluctuaties van de verdeling van de ladingsdichtheid trillingen uitvoeren, waarvan de frequentie eveneens gegeven wordt door verg. (18); vandaar de naam.) Men krijgt op deze wijze overzichtelijker formules, met de dimensieloze onafhankelijke variabele ω/ω_p en met γ/ω_p als enige parameter:

$$n^2 - K^2 = \varepsilon_g \left\{ 1 - \frac{1 + \left(\frac{\gamma}{\omega_p}\right)^2}{\left(\frac{\omega}{\omega_p}\right)^2 + \left(\frac{\gamma}{\omega_p}\right)^2} \right\}, \quad . \quad (19)$$

$$2nK = \varepsilon_g \frac{\frac{\gamma}{\omega_p}\left\{1 + \left(\frac{\gamma}{\omega_p}\right)^2\right\}}{\frac{\omega}{\omega_p}\left\{\left(\frac{\omega}{\omega_p}\right)^2 + \left(\frac{\gamma}{\omega_p}\right)^2\right\}}. \quad . \quad . \quad (20)$$

Berekent men uit deze vergelijkingen n en K en hieruit ten slotte met behulp van verg.(7) de reflexiecoëfficiënt, dan krijgt men het in *fig. 12* weergegeven resultaat. Men ziet dat de steilheid van de krommen, dat is dus de op de vrije ladingdragers berustende mate van selectiviteit van het materiaal, in hoofdzaak wordt bepaald door de verhouding γ/ω_p. Deze verhouding dient klaarblijkelijk zo klein mogelijk te zijn, om een zo abrupt mogelijke sprong

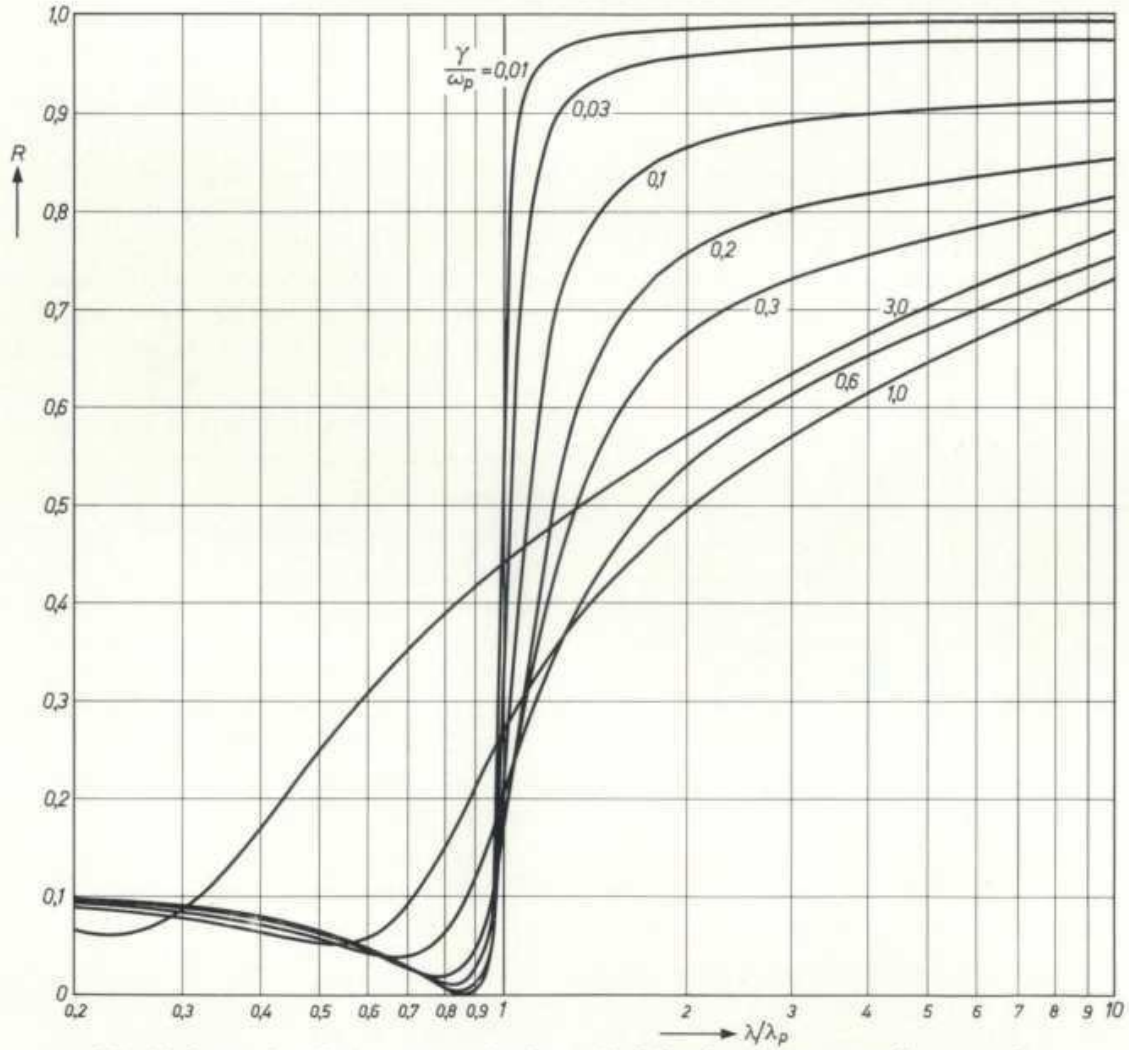

Fig. 12. Spectrale reflexie, veroorzaakt door vrije ladingdragers in een medium met de diëlektrische constante $\varepsilon_g = 4$. De krommen zijn genormeerd door invoering van de plasmagolflengte $\lambda_p = 2\pi c/\omega_p$, hetgeen in de tekst nader wordt toegelicht.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

van de emissiecoëfficiënt tussen het zichtbare gebied en het infrarood te krijgen. De reflexiekant, die gedefinieerd is door $\lambda/\lambda_p = 1$, moet bij $\lambda_p = 0{,}7$ μm liggen, hetgeen aan een waarde $\omega_p = 2{,}7 \times 10^{15}\ s^{-1}$ beantwoordt. Om een schatting te maken van de ladingdragersconcentratie die voor deze ligging nodig is, gaan we uit van de onderstellingen dat $\gamma^2 \ll \omega^2$, $\varepsilon_g \approx 10$ en dat de effectieve massa m^* ongeveer gelijk is aan die van het vrije elektron, m_0. Uit verg. (18) volgt met deze gegevens: $N = 2{,}2 \times 10^{22}\ cm^{-3}$. Daar wij in het algemeen effectieve massa's kunnen verwachten die kleiner zijn dan die van het vrije elektron, kan deze berekende dragersconcentratie worden beschouwd als een bovenste grens. De dragersconcentratie in vrijwel alle metalen, waaronder ook wolfraam, is hoger dan deze waarde. Dientengevolge liggen hun plasmafrequenties hoger dan $2{,}7 \times 10^{15}\ s^{-1}$ en heeft men reeds in het zichtbare gebied een metallieke reflexie. Bovendien is de dempingsconstante γ van de hoogsmeltende metalen, zoals wolfraam en molybdeen, zo groot dat de reflexiekromme tamelijk vlak verloopt. Aan dit geval beantwoorden in fig. 12 de krommen met waarden $\gamma/\omega_p > 1$. In *fig. 13*

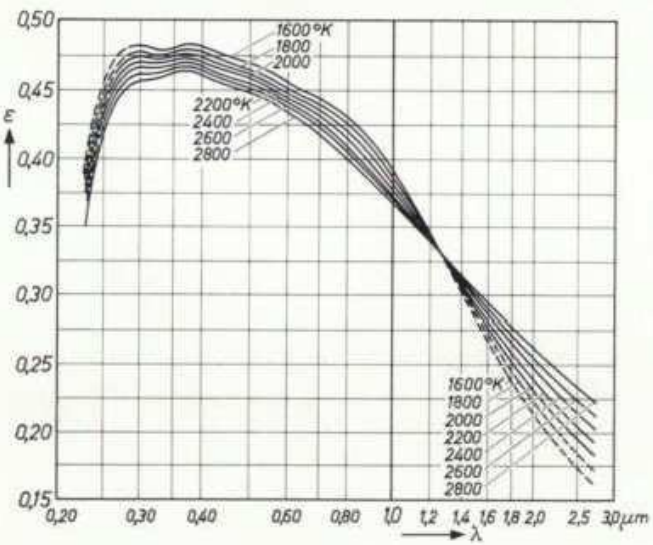

Fig. 13. Spectrale emissiecoëfficiënt ε van wolfraam bij verschillende temperaturen.
(Volgens J.C. de Vos, dissertatie Amsterdam, 1953.)

is de emissiecoëfficiënt van wolfraam als functie van golflengte en temperatuur uitgezet. De krommen kunnen speciaal in het infrarood goed door de vergelijkingen (16) en (17) worden beschreven, mits men de vrije parameters ε_g en m^* geschikt kiest. De temperatuur-afhankelijkheid van de emissiecoëfficiënt wordt voornamelijk bepaald door de wijze waarop de dempingsconstante resp. de beweeglijkheid van de dragers met de temperatuur varieert. Uit fig. 13 blijkt dat de selectiviteit van wolfraam uit een oogpunt van lichtopwekking in feite gering is. De emissiecoëfficiënt in het zichtbare gebied bedraagt ongeveer 0,45, terwijl hij in het nabije infrarood, met name bij de golflengten waar de energieverdeling van een straler op 2800 °K een maximum heeft, pas tot 0,35 is gedaald. Dientengevolge is het lichtrendement van een wolfraamstraler slechts ca. 30% hoger dan dat van een zwart lichaam op dezelfde temperatuur.

Dat wolfraam algemeen ingang heeft gevonden als materiaal voor gloeilampen, berust dan ook niet op de boven besproken optische gezichtspunten, doch veeleer op de zeer geringe verdampingssnelheid, waardoor bijzonder hoge gloeitemperaturen mogelijk zijn. Intussen heeft men echter in de gloeilampentechniek de op blz. 350 reeds vermelde regeneratieve processen ingevoerd, waardoor het materiaal dat van de gloeispiraal verdampt weer hiernaar wordt teruggebracht. Het eerste proces van deze soort dat technische toepassing heeft gevonden, is het genoemde W-J-proces. Het lijkt niet uitgesloten dat men door toepassing van dergelijke regeneratieve processen ook materialen die een aanzienlijk hogere dampdruk dan wolfraam hebben, voor gloeilampen zal kunnen gebruiken. Het is daarom ook de moeite waard naar materialen uit te zien die een hogere mate van selectiviteit bezitten dan wolfraam.

Als voorbeeld hiervan toont *fig. 14* de spectrale reflexiecoëfficiënt van lanthaanhexaboride (LaB_6). Het bij 0,6 μm gelegen minimum van de reflexie en de steile toeneming in de richting van langere golven laten er nauwelijks twijfel aan bestaan dat men hier te maken heeft met de reflexiekant van de vrije elektronen. Nemen we in eerste instantie aan dat de vorm van de reflexiecurve ook bij hogere temperaturen bij benadering dezelfde blijft, dan springen de lichttechnische merites in het oog. In het zichtbare gebied, speciaal in het gebied van de maximale ooggevoeligheid, is dank zij de geringe reflexie de emissiecoëfficiënt buitengewoon groot en haast gelijk aan die van een zwarte straler. Aan de grens van het infrarood neemt de reflexiecoëfficiënt steil toe, en reeds in het nabije infrarood wordt de emissiecoëfficiënt hierdoor zeer klein.

Aan welke materiaalconstanten heeft LaB_6 deze gunstige eigenschappen te danken? Het geleidingsvermogen van LaB_6 is met $\sigma = 7{,}5 \times 10^4\ \Omega^{-1}cm^{-1}$ aanzienlijk groter dan dat van de meeste onedele metalen. Dit komt echter niet tot stand door een grote dragersconcentratie, die met een waarde $N = 1{,}45 \times 10^{22}\ cm^{-3}$ voldoet aan de voorwaarde die boven met het oog op de ligging van de reflexiekant werd geformuleerd; het grote geleidingsvermogen is veeleer te danken aan een grote beweeglijkheid, nl.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

$\mu = 32$ cm²/Vs. Doordat ieder lanthaanatoom met één elektron bijdraagt tot het geleidingsmechanisme, heeft men bij LaB_6 als het ware te maken met een door de boriumatomen verdund metaal. Een nauwkeuriger analyse leert dat de in verg.(16) voorkomende diëlektrische constante ε_g de waarde 15,6 heeft en dat de effectieve massa $m^* = 0{,}32\, m_0$ [8]). Met deze gegevens vindt men een dempingsconstante $\gamma = 1{,}74 \times 10^{14}$ s^{-1}, een plasmafrequentie $\omega_p =$ $3{,}04 \times 10^{15}$ s^{-1} en een verhouding $\gamma/\omega_p \approx 0{,}06$. De gunstige eigenschappen van het LaB_6 berusten dus enerzijds op een geschikte ligging van de plasmafrequentie, anderzijds op een kleine waarde van γ, d.w.z. volgens verg. (12) op een grote waarde van het produkt van beweeglijkheid en effectieve massa.

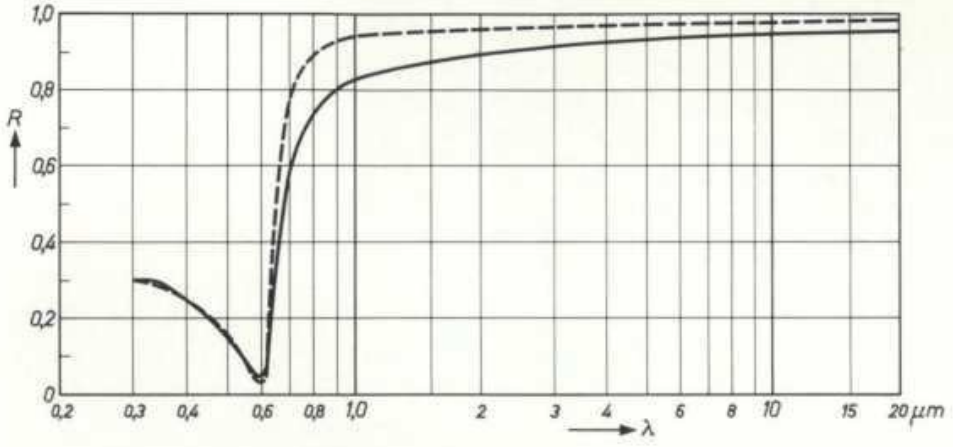

Fig. 14. Spectrale reflexiecoëfficiënt van LaB_6. Getrokken kromme: gemeten waarden. Gestippelde kromme: waarden berekend uit verg. (16) en (17).

Helaas gaan bij temperatuurverhoging de gunstige eigenschappen van het LaB_6 voor een groot deel verloren. Men krijgt nl., zoals men van de metalen gewend is, een afneming van het geleidingsvermogen ten gevolge van een toenemende verstrooiing van de ladingdragers aan fononen. De temperatuurcoëfficiënt van de weerstand heeft in het temperatuurgebied tussen 300 °K en 1000 °K de waarde $2{,}75 \times 10^{-3}$ °K^{-1} en wordt in hoofdzaak bepaald door de variatie van de beweeglijkheid met de temperatuur. Extrapoleert men tot gloeitemperaturen van ca. 2300 °K, dan moet men rekenen met een beweeglijkheid die nog slechts 5 cm²/Vs bedraagt, dus met een waarde $\gamma/\omega_p \approx 0{,}4$. De daarbij behorende reflexiekromme zal, zoals men in fig.12 ziet, aanzienlijk minder steil zijn, wat weer zeer nadelig is voor het rendement van de selectieve straler. Om deze reden zal LaB_6 nog wel niet de definitieve oplossing van het probleem bieden. Men zal veeleer verder moeten zoeken onder die stoffen die bij kamertemperatuur een nog aanzienlijk grotere beweeglijkheid hebben, b.v. van meer dan 100 cm²/Vs, zodat de bij temperatuurverhoging onvermijdelijk optredende daling hiervan minder kwaad kan. Betreffende de mogelijkheid zulke stoffen te vinden, kunnen we zeker optimistisch zijn. Er bestaan een reeks hexaborides van de zeldzame aarden en van de aardalkalimetalen waarvan de elektrische eigenschappen stroken met hetgeen boven werd geschetst, terwijl aan hun optische eigenschappen tot dusver nauwelijks enige aandacht is geschonken. Bovendien zijn er talrijke hoogsmeltende verbindingen waarvan het geleidingsvermogen niet veel onderdoet voor dat van de metalen, maar die nog niet nader uit het oogpunt van hun toepasbaarheid als selectieve stralers zijn onderzocht. Vindt men hieronder geschikte stoffen, dan zouden deze in combinatie met geschikte regeneratieve kringprocessen tot een praktisch bruikbare gloeilamp kunnen leiden die de wolfraamgloeilamp in lichtrendement ver overtreft.

Toepassing van selectief reflecterende laagjes

Ten slotte willen wij ons nu bezighouden met de mogelijkheid het lichtrendement van een gegeven straler te verhogen door geschikte beïnvloeding van de spectrale samenstelling van de straling met behulp van reflexiefilters. De bedoeling is, dat de infrarode straling teruggeworpen wordt op het gloeilichaam, terwijl het zichtbare licht het filter vrijwel onverzwakt passeert. Naar gelang van de kwaliteit van het filter zou op deze wijze het rendement van een lichtbron aanzienlijk kunnen worden verbeterd. Overigens is de toepassing van deze kunstgreep, zoals we nog zullen zien, niet beperkt tot de thermische stralers.

[8]) E. Kauer, Physics Letters **7**, 171, 1963 (no. 3).

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

In de voorafgaande hoofdstukken hebben we gezien dat de eigenlijke moeilijkheden bij de selectieve straler ontstaan doordat de materialen aan zekere eisen moeten voldoen bij hoge temperaturen. De toepassing van selectief reflecterende laagjes komt hierop neer dat de problematiek verplaatst wordt naar de materiaaleigenschappen bij veel lagere temperaturen.

We beschouwen een bolsymmetrische of oneindig lange cilindersymmetrische opstelling, met in het midden het stralende lichaam, omgeven door een ballon die bedekt is met het genoemde filter. We onderstellen een zodanige geometrie dat alle van het lichaam uitgaande stralen, voor zover zij aan het filter worden gereflecteerd, na één enkele reflexie weer op dit lichaam terugvallen. De doorlating van het filter noemen we $D(\lambda)$, zijn reflexiecoëfficiënt $R(\lambda)$. Verwaarlozen we eenvoudigheidshalve voorlopig de hoekafhankelijkheid van deze grootheden en nemen we voor het stralende lichaam de energieverdeling van een zwarte straler $E_0(\lambda,T)$ aan, dan geldt voor het lichtrendement van de opstelling de formule:

$$\eta\,(T) = \frac{\int_0^\infty E_0(\lambda,T)\; D(\lambda)\; V(\lambda)\,\mathrm{d}\lambda}{\int_0^\infty \left[1 - R(\lambda)\right] E_0(\lambda,T)\,\mathrm{d}\lambda}. \quad . \quad (21)$$

Om het rendement zo groot mogelijk te maken, zou men een absorptievrij filter moeten hebben, waarvoor

$D = 1$ en dus $R = 0$ voor $0{,}4 \leqq \lambda \leqq 0{,}7\,\mu\mathrm{m}$,

$R = 1$ en dus $D = 0$ voor $0{,}7 \leqq \lambda \leqq \infty$.

Deze voorwaarden treden in de plaats van de vergelijkingen (5).

Filters die aan deze voorwaarden ten volle voldoen, bestaan helaas niet. Het best kan men de vereiste eigenschappen benaderen met interferentiefilters op basis van meervoudige diëlektrische laagjes. Zulke filters zijn echter nogal kostbaar, zodat een toepassing in de lampentechniek slechts in speciale gevallen in aanmerking komt. Men gebruikt ze b.v. voor bepaalde projectielampen om de verwarming van bestraalde objecten te verminderen. Wat de toepassing van deze filters voor het verhogen van het lichtrendement van gloeilampen betreft, is het tot dusver nog bij experimenten gebleven [9] [10]).

In *fig. 15* is het karakteristieke spectrale verloop weergegeven van de reflexie en de doorlating van een filter bestaande uit een aantal diëlektrische laagjes, voor invalshoeken van 0° en 45°. De sterke hoekafhankelijkheid is een groot nadeel van alle interferentiefilters. Deze maakt het noodzakelijk de dimensies van het stralende lichaam klein te houden ten opzichte van die van de ballon resp. de filters, en dientengevolge moeten aan de justering van dit lichaam strenge eisen worden gesteld. Uit fig.15 blijkt nog een ander nadeel van het interferentiefilter: het levert de gewenste sterke reflexie slechts in een smal golflengtegebied. De rest van de infrarode straling wordt door absorptie in het filter gedissipeerd en draagt dus niet bij tot de verhoging van het rendement. Het nadeel van deze smalle reflexieband kan ten dele worden opgeheven door vergroting van het aantal diëlektrische laagjes. Dit is geheel analoog met het in serie schakelen van elektrische trillingskringen die een weinig in afstemming verschillen, de mathematische beschrijving van de beide systemen is identiek. We willen hier niet nader op ingaan, ten eerste omdat deze filters principieel niets nieuws bieden, ten tweede omdat hun kostbaarheid de toepassing op grote schaal toch uitsluit.

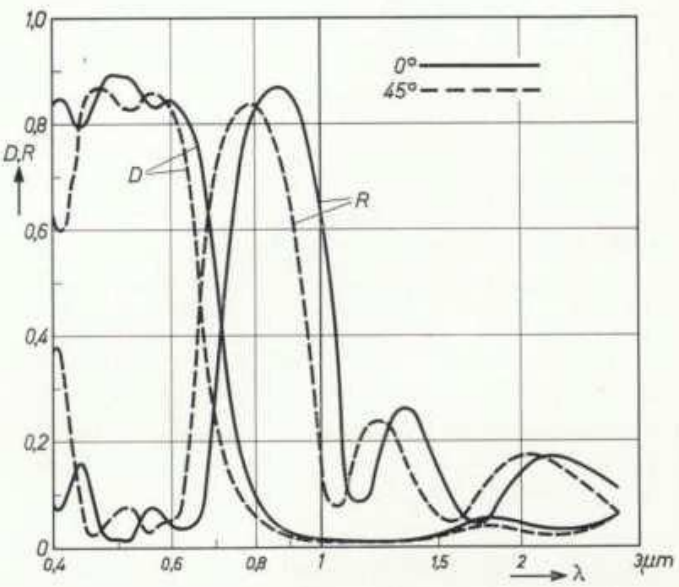

Fig. 15. Spectrale doorlating D en reflexiecoëfficiënt R van een interferentiefilter bestaande uit diëlektrische laagjes, voor een invalshoek van $\Theta = 0°$ (getrokken) en van $\Theta = 45°$ (gestippeld).

Men kan zich echter afvragen of het niet reeds met een enkele laag mogelijk is een reflexiefilter te maken dat bij benadering aan de bovengestelde eisen voldoet. Het is b.v. reeds lang bekend dat dunne goud- en koperlaagjes in doorgaand licht er groen uitzien, in gereflecteerd licht daarentegen roodachtig geel. In *fig. 16* is de doorlating en de reflexiecoëfficiënt van een dunne goudlaag als functie van de golflengte uitgezet. Men ziet dat de reflexiecoëfficiënt

[9]) F. J. Studer en D. A. Cusano, J. Opt. Soc. Amer. **43**, 522, 1953.

[10]) E. M. Beesley, A. Makulec en H. H. Schröder, Illum. Engng. **58**, 380, 1963 (no. 5).

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

reeds in het nabije infrarood waarden van ongeveer 90% bereikt, terwijl de doorlating van dit laagje in het zichtbare licht toch altijd nog ongeveer 50% bedraagt.

Wij hebben met goudlaagjes op gloeilampen geëxperimenteerd, maar het resultaat was negatief. Dit moeten we toeschrijven aan de klaarblijkelijke onvolmaaktheid van de filters en ook aan het feit dat de spiraal sterk afwijkt van de gewenste bol- of cilindersymmetrie. De toepassing van deze goudfilters voor natriumdamplampen daarentegen bracht wel het verwachte succes. In de energiebalans van een natriumdamplamp spelen nl. de warmteverliezen van de ontladingsbuis een beslissende rol. Deze buis moet terwille van een optimale natriumdampdruk tijdens het branden op een temperatuur van ca. 280 °C worden gehouden. De warmteverliezen van de buis bestaan bij de moderne uitvoering met aangesmolten vacuümmantel in hoofdzaak uit de thermische straling van de ontladingsbuis, die als een vrijwel zwarte straler met een temperatuur van 550 °K kan worden beschouwd. Een eenvoudige berekening leert dat bij een 140-W-natriumlamp ca. 100 W als warmtestraling wordt gedissipeerd. Het maximum van de energieverdeling van deze straling ligt bij ongeveer 5,5 μm, dus ver verwijderd van de Na-D-lijnen, zodat aan de steilheid van de doorlatingskromme van het filter niet dusdanig strenge eisen behoeven te worden gesteld als in het geval van de gloeilamp. Door het aanbrengen van een goudlaagje op de binnenkant van de vacuümmantel van de natriumlamp kan het opgenomen vermogen zo sterk worden gereduceerd dat het lichtrendement, rekening houdende met de verliezen in het voorschakelapparaat, steeg van ca. 93 tot 120 lm/W. Daarmee kon voor het eerst in de geschiedenis van de lichttechniek een praktische lamp worden gemaakt met een rendement van meer dan 100 lm/W [11]).

Door het aanbrengen van de goudlaag bleek het ongewilde neveneffect op te treden dat de totale lichtstroom van de natriumlamp daalde. Dit komt ten dele doordat men de lamp voor eenzelfde temperatuur met een kleinere stroomdichtheid moet laten branden, ten dele echter ook door de lichtverliezen in het goudfilter. De volgende vraag was nu, of er behalve goud of koper nog andere materialen zijn die als dunne laag een sterke infraroodreflexie vertonen, bij geringere lichtverliezen. Aangezien het optische gedrag van koper en goud in het infrarood bepaald wordt door de vrije ladingdragers, lag het voor de hand te kijken naar stoffen die soortgelijke elektrische eigenschappen als goud en koper bezitten of eventueel door dotering kunnen krijgen. Voor een theoretische behandeling gaan we uit van de vergelijkingen (16, 17) op blz. 358. Bij geschikte keuze van de laagdikte wordt de grens tussen het doorlatings- en het reflexiegebied van het filter in hoofdzaak bepaald door de plasmafrequentie ω_p. Wil men het zichtbare licht scheiden van het nabije infrarood, dan moeten praktisch dezelfde elektrische voorwaarden worden vervuld als bij de geïdealiseerde metallieke selectieve stralers (zie blz. 360). Om een steile flank in de reflexiekromme en tevens een sterke infraroodreflexie te verkrijgen, eisen we dus weer een grote waarde van het produkt van beweeglijkheid en effectieve massa — nu echter, zoals reeds gezegd, bij relatief lage temperaturen.

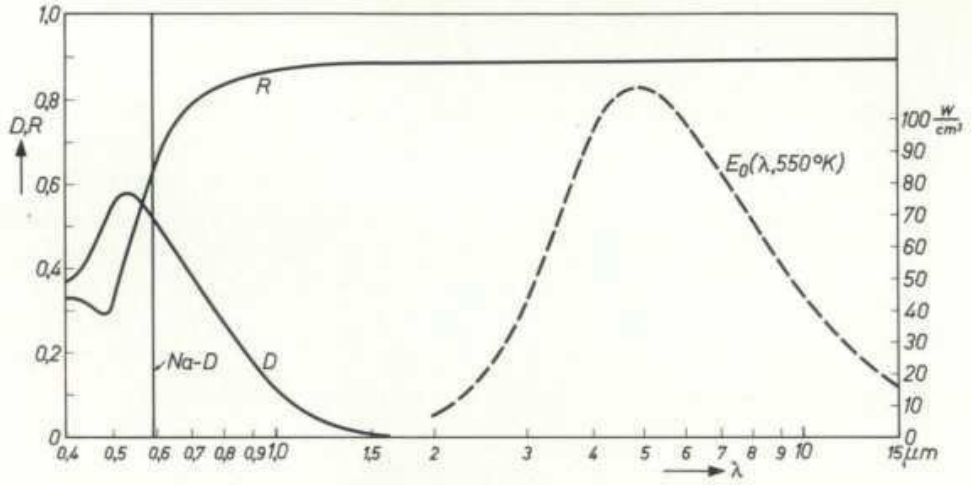

Fig. 16. Spectrale doorlating D en reflexiecoëfficiënt R van een goudlaagje van ca. 15 nm dikte. Gestippeld is getekend het infrarode spectrum van de straling van een natriumlamp die zich op 550 °K bevindt.

[11]) Zie de nadere uiteenzetting hierover in: M.H.A. van de Weijer, Nieuwe mogelijkheden in natriumlampen, Philips techn. T. **23**, 226-238, 1961.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Indien de golflengte-afhankelijkheid van de optische constanten van een materiaal in het zichtbare gebied en in het nabije infrarood uitsluitend wordt bepaald door vrije ladingdragers, d.w.z. als er geen anderssoortige absorptiemechanismen optreden, kunnen de optische constanten uit de theorie berekend worden, mits men de in verg. (16) en (17) voorkomende materiaalparameters kent. Hieruit

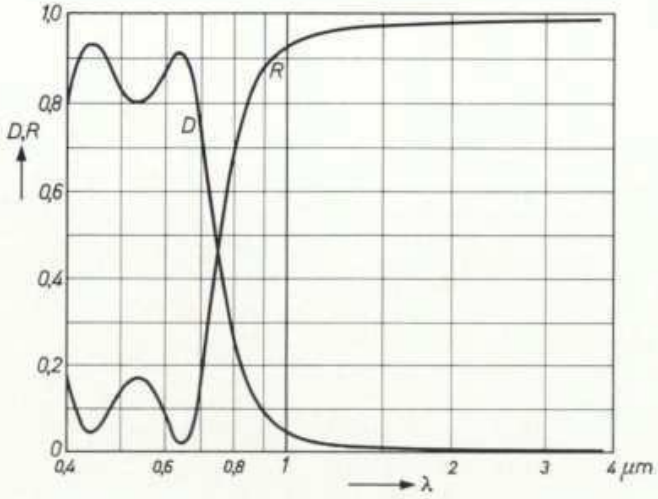

Fig. 17. Spectrale doorlating D en reflexiecoëfficiënt R van een hypothetisch filter met de materiaalparameters: $\varepsilon_g = 10$; $N = 1{,}13 \times 10^{22}$ cm^{-3}; $\mu = 100$ cm^2/Vs; $m^* = 0{,}5\, m_0$; $d = 0{,}09$ μm.

kunnen dan bij gegeven laagdikte ook de doorlatings- en de reflexiekrommen van een filter worden berekend [12]).

Wij hebben op deze wijze de doorlatings- en de reflexiekrommen berekend voor een hypothetisch filter met de volgende materiaalparameters: $\varepsilon_g = 10$, $N = 1{,}13 \times 10^{22}$ cm^{-3}, $\mu = 100$ cm^2/Vs, $m^* = 0{,}5\, m_0$, $d = 0{,}09$ μm. In *fig. 17* zijn deze krommen uitgezet. Zoals men ziet, is bij juiste keuze van de dikte een effectieve scheiding van zichtbaar licht en infrarood mogelijk. De hierbij onderstelde waarden voor de parameters zijn in het geheel niet uitzonderlijk als men ze b.v. vergelijkt met die voor LaB_6. Betreffende de keuze van de stoffen gelden overigens dezelfde overwegingen als op blz. 359/360.

Ondanks dit theoretische resultaat is het realiseren van filters die het zichtbare licht en het nabije infrarood van elkaar scheiden tot dusver nog niet goed gelukt. Ten dele is dit daaraan te wijten dat slechts bij weinig stoffen de plasmafrequentie de juiste waarde heeft, ten dele ook daaraan dat sommige van deze stoffen een zeer hoog smeltpunt bezitten (zoals b.v. LaB_6) en daardoor moeilijk in de vereiste dunne laag kunnen worden vervaardigd. Stelt men echter minder zware eisen, zoals bij de natriumlamp, dan zijn wel degelijk praktische oplossingen mogelijk die betere resultaten leveren dan de hierboven beschreven goudfilters. Het is reeds lang bekend dat tinoxydelaagjes (SnO_2), die door thermische ontleding van $SnCl_4$ worden vervaardigd, een goed elektrisch geleidingsvermogen kunnen bezitten en tevens heel doorzichtig zijn. Uitgebreide proeven om door geschikte condities bij de vervaardiging en door juiste dotering de beweeglijkheid en concentratie van de ladingdragers in deze laagjes zo groot mogelijk te maken, hebben geleid tot filters die bij 5 μm een reflexievermogen tot 80% hebben. Als voorbeeld hiervan is in *fig. 18* de doorlating en de reflexie van een 0,32 μm dikke SnO_2-laag op glas uitgezet. Voor de Na-D-lijnen is de doorlating van dit filter 90%, hetgeen de waarde van 92% die men voor een glasplaat zonder opgedampte laag zou kunnen verwachten wel zeer nabij komt. Dit filter kan dus voor natriumlicht als nagenoeg verliesvrij worden beschouwd. Past men zulk een filter toe bij een natriumlamp, dan krijgt men eenzelfde lichtrendement als met het goudfilter. De lichtstroom echter is ten gevolge van de betere doorlating in het zichtbare gebied dubbel zo groot als die van de lamp met goudlaag.

Bij het verdere onderzoek van de elektrische en optische eigenschappen van tot dusver weinig be-

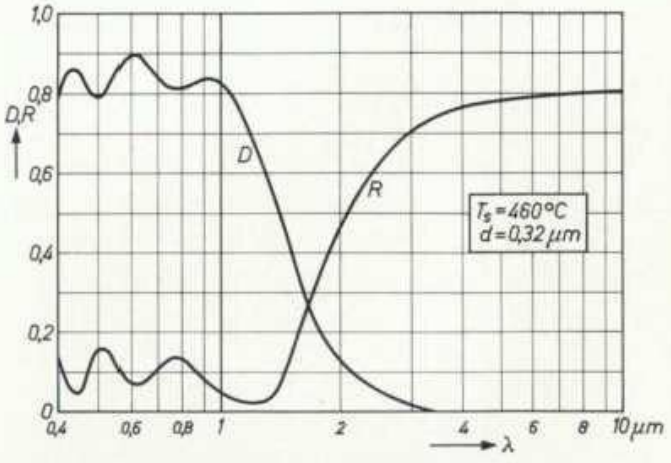

Fig. 18. Spectrale doorlating D en reflexiecoëfficiënt R van een tinoxydefilter op glas. De laag wordt gekenmerkt door de volgende experimenteel bepaalde materiaalparameters: $\varepsilon_g = 3{,}8$; $N = 6 \times 10^{20}$ cm^{-3}; $\mu = 20$ cm^2/Vs; $m^* = 0{,}25\, m_0$; $d = 0{,}32$ μm.

[12]) Zie b.v. H. Mayer, Physik dünner Schichten, deel I, Wiss. Verlagsges. Stuttgart 1950, blz. 144. Voor de laatstgenoemde stap geldt weliswaar de beperking dat de optische constanten ten gevolge van het zogenaamde weglengte-effect (zie het zojuist aangehaalde boek, deel II, 1955, blz. 204) alsmede ten gevolge van structuureffecten kunnen afwijken van die van het massieve materiaal. Men zal dus in elk afzonderlijk geval nog moeten nagaan welke elektrische gegevens voor de dunne laag gelden.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

kende stoffen, zal het misschien lukken ook een eenvoudig reflexiefilter met een gunstige reflexiekromme voor stralers op hoge temperatuur te maken. Behalve de in de voorgaande hoofdstukken besproken mogelijkheid, het lichtrendement te verhogen door min of meer exotische stoffen in plaats van wolfraam voor het gloeilichaam te gebruiken, bestaat dus de reële verwachting dat men ook met een veel minder ingrijpende wijziging, nl. door het aanbrengen van een geschikte filterlaag op de ballon, het lichtrendement van de aloude gloeilamp nog aanzienlijk zal kunnen verbeteren.

Samenvatting. Het rendement van wolfraamlampen en andere als lichtbron gebruikte thermische stralers is beperkt doordat ze de meeste energie in het infrarood uitstralen. Reeds lang geleden heeft men, zonder noemenswaardig succes, getracht een beter lichtrendement te krijgen door het gebruik van selectieve stralers die in het infrarood relatief weinig stralen. Er zijn twee soorten selectieve stralers denkbaar, nl. de „doorzichtige", die in het infrarood geheel doorlatend zijn, en de metalliek reflecterende, die in het infrarood alle straling terugkaatsen. De mogelijkheden om zulke stralers te realiseren, worden in dit artikel uitvoerig onderzocht op basis van moderne inzichten, voornamelijk uit de theorie van de vaste stof, en met behulp van nieuwe, deels door metingen aan monokristallen verkregen gegevens over materialen. Hierbij worden de vier mogelijke absorptieprocessen in de vaste stof nader beschouwd, nl. die berusten op de roostertrillingen, de vrije ladingdragers, de roosterfouten en de excitatie van ladingdragers in halfgeleiders (absorptiekant). Het resultaat is, dat voor de doorzichtige selectieve stralers ten gevolge van fundamentele beperkingen weinig vooruitzichten bestaan. Daarentegen moet aan de metalliek reflecterende stralers in verbinding met geschikte transportreacties (analoog met het bekende wolfraam-jodiumproces), een goede kans worden toegekend.

Goede mogelijkheden om het lichtrendement te verbeteren, biedt ook de kunstgreep, een willekeurige (thermische of niet-thermische) lichtbron, die alleen aan bepaalde geometrische eisen moet voldoen, te omgeven met een filter dat zelf koud blijft en dat de infrarode straling selectief naar het stralend lichaam terugkaatst, terwijl het de zichtbare straling doorlaat. Zulk een filter, in de vorm van een dun laagje goud of tinoxyde, is reeds met succes toegepast voor natriumlampen. Het is heel goed denkbaar dat ook voor de gloeilamp een geschikt filter zal worden gevonden.

EEN MODEL OP SCHAAL 5000:1 VAN HET MAGNETISCHE REGISTRATIEPROCES

door D. L. A. TJADEN *) en J. LEYTEN *).

621.318.24.087

Hoewel magnetische registratie voor velerlei doeleinden alom wordt toegepast, weet men nog weinig van de wijze waarop zich het proces van de registratie in de dunne magnetische laag afspeelt. Met behulp van een installatie waarin het magnetische registratieproces op schaal 5000:1 wordt gerealiseerd en waarbij dan de verdeling van de magnetisatie over de laagdikte kan worden gemeten, wordt thans getracht meer inzicht in dit proces te verkrijgen.

In de afgelopen 15 à 20 jaar heeft de magnetische registratie zich ontwikkeld tot een onmisbaar hulpmiddel, zowel voor het vastleggen van geluids- en beeldsignalen als voor het vastleggen van machinale gegevens (meet-, regel-, stuur- en rekensignalen). Aan deze ontwikkeling liggen verbeteringen ten grondslag die men in de eigenschappen van de magnetische band en in die van opneem- en weergeefkoppen heeft weten te bereiken. Vraagt men zich echter af, waaraan die verbeteringen te danken zijn, dan moet men, misschien met enige teleurstelling, vaststellen dat ze voor het merendeel langs zuiver proefondervindelijke weg zijn verkregen. De oorzaak hiervan is, naar onze mening, dat het fundamentele inzicht in de factoren die het registratieproces bepalen nog vrij gebrekkig is. Met name geldt dit voor hetgeen zich afspeelt bij het registreren met zeer kleine golflengte, dus bij hoge signaalfrequenties en/of geringe bandsnelheid. Maar ook bij registratie met grote golflengte is het moeilijk het gedrag van een band op grond van zijn magnetische eigenschappen nauwkeurig te voorspellen.

Hoe komt het dat de theorie hier zo achter is gebleven bij de praktijk? Het registratieproces moet in principe kunnen worden beschreven door na te gaan hoe bij het passeren van een stukje band langs de schrijfkop de magnetisatiekromme van het bandmateriaal — op punten op verschillende diepte in

*) Philips' Natuurkundig Laboratorium, Eindhoven.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

de band — wordt doorlopen. De situatie wordt evenwel aanzienlijk ingewikkelder doordat bij het passeren langs de kop niet alleen de sterkte maar ook de richting van het magnetiserende veld verandert (het draait in totaal over 180°, zie *fig. 1*), en doordat de magnetisatie op elk tijdstip in belangrijke mate mede bepaald wordt door ontmagnetiserende velden. Gezien deze complicaties, zijn we voor het verdiepen van ons inzicht in het gedrag van een magnetische band in feite aangewezen op experimentele gegevens, met name op gegevens omtrent de wijze waarop de resulterende magnetisatievector, na het registreren van een eenvoudig signaal, naar grootte en richting varieert over de dikte van de magnetische laag. Zulke gegevens ontbreken tot dusver vrijwel, en er bestaat ook weinig hoop dat men ze zou kunnen verkrijgen uit rechtstreekse metingen aan de 0,01 mm dikke lagen van normale magnetische banden.

Om uit deze impasse te geraken, is in het Philipslaboratorium te Eindhoven een toestel voor magnetische registratie gebouwd waarbij de essentiële dimensies een factor 5000 zijn vergroot: de schrijfkop heeft een spleetlengte van 2 cm, de magnetische laag van de „band" een dikte van 5 cm. Door geschikte keuze van de snelheid waarmee men deze band beweegt en van de frequentie van de signaalstroom die men aan de schrijfkop toevoert, kan men een geschreven golflengte krijgen die in eenzelfde verhouding tot spleetlengte en laagdikte staat als bij het normale magnetische registratieproces. Zoals een nadere beschouwing leert, mag men verwachten dat onder deze voorwaarde en bij gelijke grootte der magnetiserende veldsterkten ook de ruimtelijke variatie van de magnetisatievector in de laag een enigszins getrouw beeld zal zijn van die bij het normale proces. In het grote model is deze magnetisatievector voor directe en nauwkeurige meting toegankelijk, met behulp van monsters die men na het registreren uit de laag kan nemen.

Dat het beeld van de magnetisatie niet essentieel door de overige afmetingen bij het registratieproces wordt beïnvloed, is plausibel, en het is maar gelukkig ook, daar het op schaal vergroten van *alle* afmetingen met een factor 5000 tot een onmogelijke constructie zou hebben geleid. De in eerste instantie gekozen vorm van schrijfkop en band is in *fig. 2* weergegeven. De band is slechts 60 cm lang en bestaat uit een dispersie in een geschikt materiaal van korrels van γ-Fe_2O_3 — precies dezelfde korrels die voor een

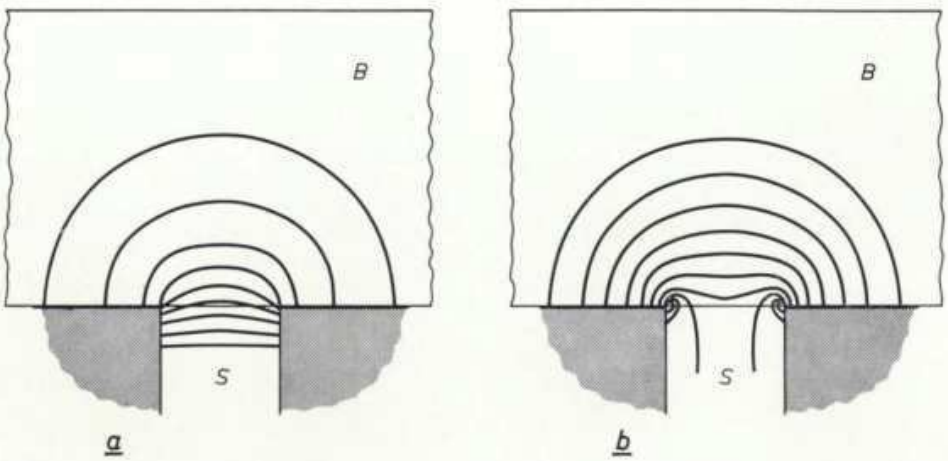

Fig. 1. Kwalitatief beeld van het magnetische veld nabij de spleet S van een schrijfkop voor magnetische registratie. B is de laag van magnetiseerbaar materiaal op de band.
a) Het gebruikelijke krachtlijnenbeeld.
b) Schaar van „iso-veldsterktelijnen" (H = const.).

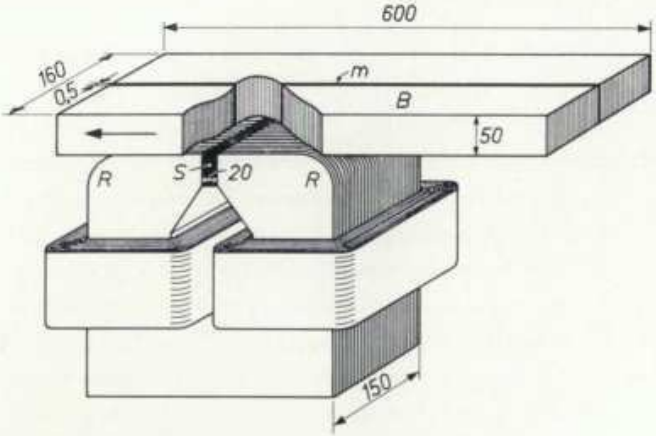

Fig. 2. Maatschets van het grote model van schrijfkop en band. De band B is uit drie longitudinale stroken opgebouwd; aan de dunne middenstrook *m* worden de metingen verricht. Een hap uit de band is in de tekening weggesneden om de spleet S van de schrijfkop beter te laten zien. Afmetingen in mm.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

normale magnetische band worden gebruikt. De dispersie bevindt zich in een bak van niet-ferromagnetisch materiaal en bestaat uit drie longitudinale stroken. Uit het middelste strookje (*m* in fig. 2), dat slechts 0,5 mm dik is, worden de monsters voor de meting genomen, en dit strookje wordt dus voor elk experiment door een nieuw vervangen.

Dat de korrels in ons model feitelijk een factor 5000 te klein zijn in verhouding tot de golflengte, veroorzaakt, zolang we niet op de ruis willen letten, geen noemenswaardige fouten. Overigens zou het op schaal vergroten van de korrels — zo dit al mogelijk was — juist wèl essentiële moeilijkheden veroorzaken. In de eerste plaats zouden in een 5000× vergrote korrel talloze weissgebieden optreden, terwijl de werkelijke korrels voor het merendeel niet meer dan één weissgebied (dus geen blochwanden) bevatten. De coërcitie van de grote korrels zou daardoor aanzienlijk geringer zijn dan die van de kleine. In de tweede plaats zouden de monsters, die we terwille van een goede ruimtelijke definitie relatief klein kiezen, zo weinig korrels bevatten dat een zeer grote spreiding in de meetresultaten zou optreden. Die spreiding is weliswaar reëel, d.w.z. ook in de werkelijke band zou ze bij beschouwen van een equivalent smal strookje te constateren zijn, maar door de in verhouding tot de korrel enorm veel grotere spoorbreedte wordt in de praktijk deze spreiding volledig uitgemiddeld.

Uitvoering van het model

De foto *fig. 3* toont de volledige opstelling, in de oorspronkelijke vorm. Men ziet de grote schrijfkop midden op de tafel, en daarboven een rolbaan waarover de bak met de dispersie op een wagen langs de kop kan worden getrokken. Deze beweging wordt in deze opstelling teweeggebracht met behulp van een schroefas, aangedreven door een elektromotor. De snelheid van de beweging kan nog enigszins worden gevarieerd. Gewoonlijk werken we met een bandsnelheid van 0,4 cm per seconde. In *fig. 4* zijn de kop en de wagen (met afgenomen bak) nog duidelijker te zien. Men ziet hier tevens dat de wagen bij zijn beweging een strook registreerpapier meetrekt. Hierop wordt een diagram van het aan de kop toegevoerde signaal geregistreerd.

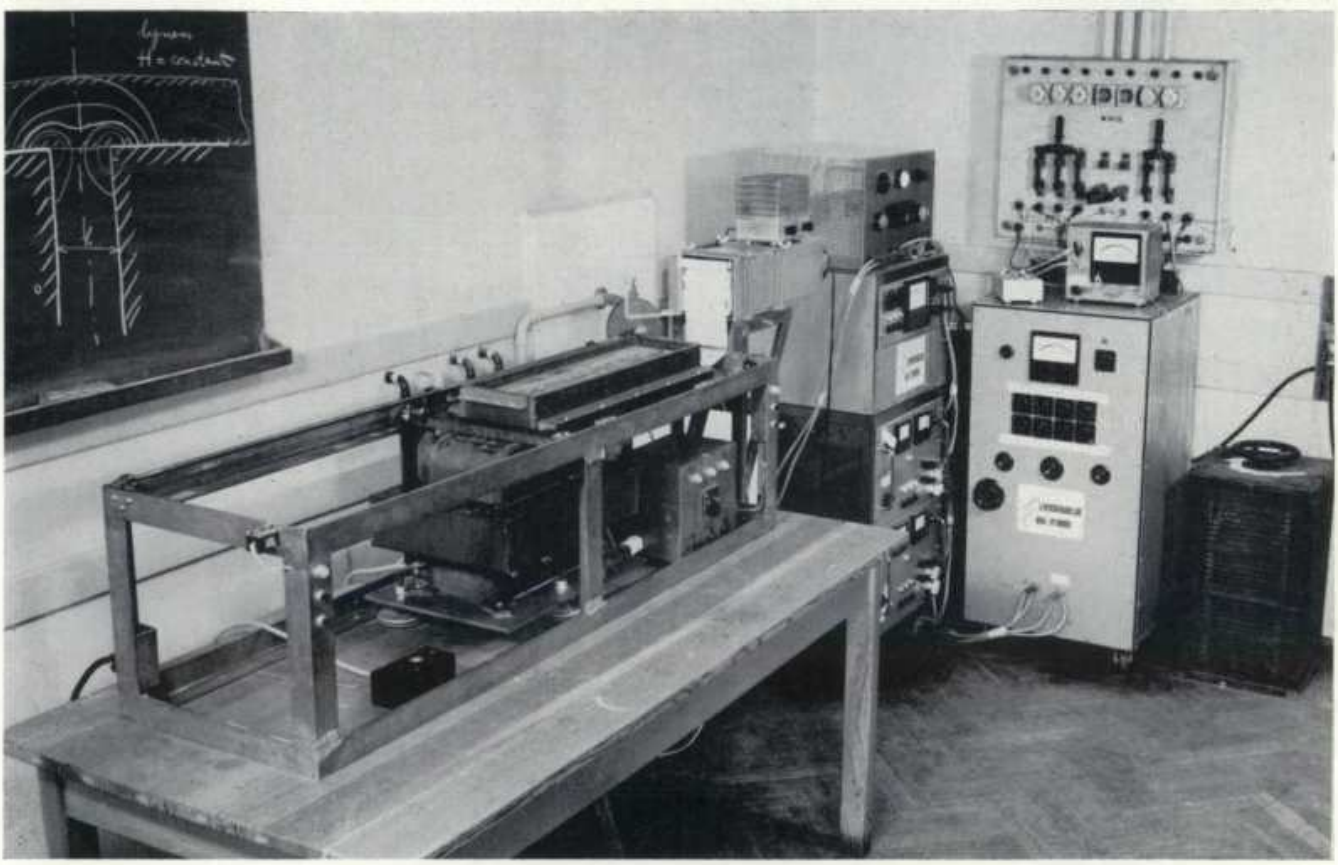

Fig. 3. Volledige opstelling van het grote model voor magnetische registratie (eerste versie). Midden op de tafel de grote schrijfkop, daarboven de op een rolbaan lopende bak met de magnetische laag. Op de achtergrond staan, van links naar rechts: de generator voor de signaalwisselstroom van 0,1 Hz (maximaal 10 A), met daarboven een kast met schakelrelais, dan de generator voor de „hoogfrequente" bijstroom van 50 Hz (maximaal 60 A) en ten slotte een regelweerstand voor het instellen van een signaalgelijkstroom (maximaal 70 A).

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

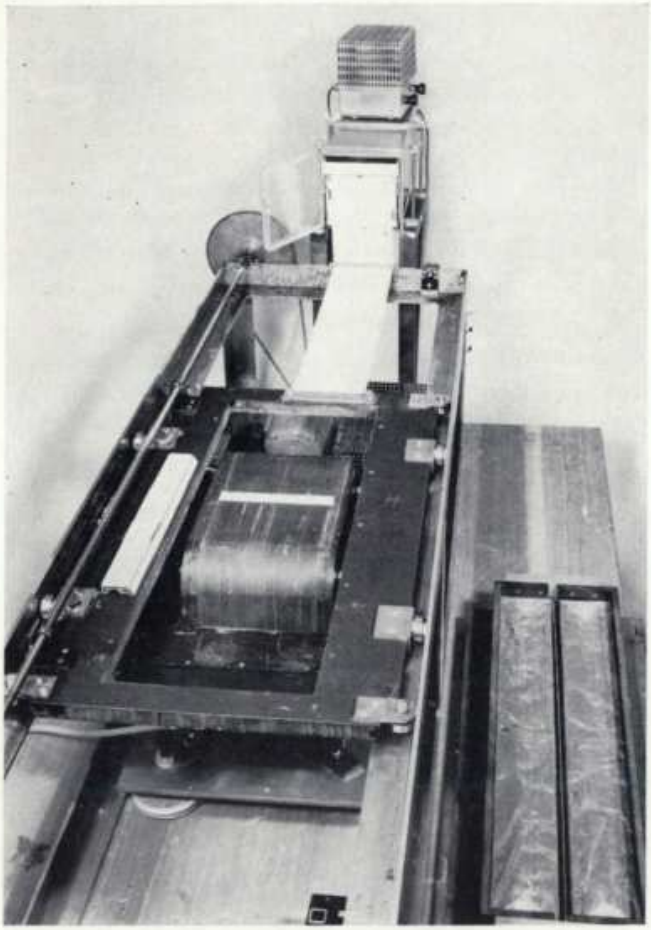

Fig. 4. Schrijfkop en rolbaan met wagen. De bak met de magnetische laag (waarvan de dunne middenstrook nog niet aangebracht is) is er afgehaald en staat rechts op de tafel. De spleet van de schrijfkop, die evenals in de normale koppen is gevuld met een niet-ferromagnetisch materiaal, is duidelijkheidshalve wit geschilderd. De wagen trekt een papierstrook mee, waarop een diagram van de aan de kop toegevoerde signaalstroom wordt geregistreerd.

Voor de signaalwisselstroom is een vaste frequentie van 0,1 Hz gekozen. De geschreven golflengte bedraagt dan 4 cm, wat overeenkomt met een golflengte van 8 µm in de normale registratie. Deze golflengte krijgt men daar b.v. bij een signaalfrequentie van 12 000 Hz en een bandsnelheid van 9½ cm/s. Voor het opwekken van de signaalwisselstroom is een enigszins ongewone generator nodig — niet wegens de zeer lage frequentie (deze is gemakkelijk met een *RC*-generator te verkrijgen), maar wegens de zeer grote vereiste stromen. Bij de normale registratie kan men de grootste ooit gewenste magnetiserende signaalveldsterkten (ca. 10^4 A/m) op de grootste diepte in de band opwekken met ca. 0,3 amperewindingen. In het model zijn de afstanden van het te magnetiseren materiaal tot de luchtspleet van de schrijfkop een factor 5000 vergroot; daardoor zijn voor hetzelf-

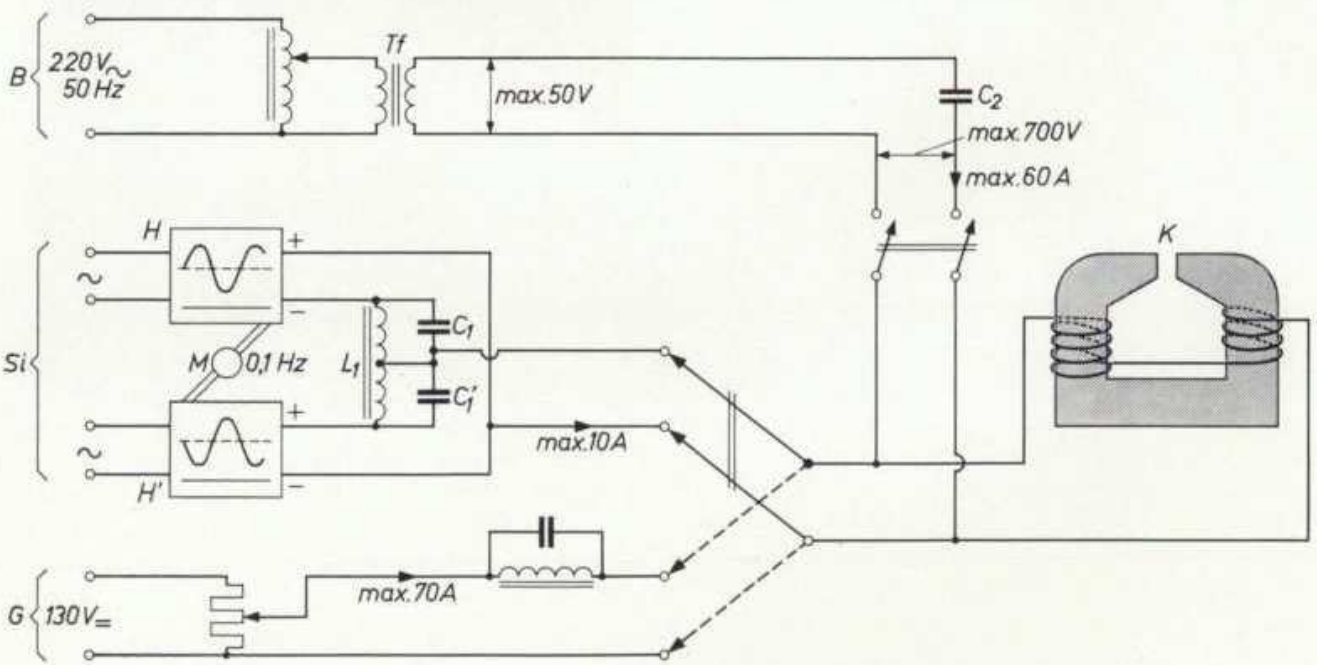

Fig. 5. Vereenvoudigd schakelschema van de voorzieningen voor signaalwisselstroom (*Si*), gelijkstroom (*G*) en bijstroom (*B*). *K* schrijfkop. De signaalwisselstroom van 0,1 Hz wordt geleverd door twee tegen elkaar in geschakelde regel-p.s.a.'s, *H* en *H'*. De uitgangsspanning van elk dezer p.s.a.'s wordt met behulp van een motortje *M* 6 maal per minuut volgens een sinusfunctie tussen 5 en 15 V op en neer geregeld, en wel variëren *H* en *H'* in tegenfaze. Op de momenten dat beide dezelfde spanning (10 V) leveren, is de stroom door de schrijfkop *K* nul, in de tussenperiodes wordt de stroom door *K* afwisselend positief en negatief. L_1-C_1-C_1' is een filter, dat de bijstroom van 50 Hz buiten *H* en *H'* houdt.

De bijstroom wordt via een regeltransformator en een scheidingstransformator *Tf* door het net geleverd. Doordat de condensator C_2 met de spoel van de schrijfkop is afgestemd op de netfrequentie, behoeft de uitgangsspanning van *Tf* slechts maximaal 50 V te bedragen.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

de doel globaal 2000 amperewindingen nodig. De door ons geconstrueerde schrijfkop bevat 175 windingen, de signaalwisselstroom moet dus ca. 10 A kunnen bedragen. De schakeling van de generator waarmee we deze signaalstroom opwekken, is in *fig. 5* in principe geschetst en in het bijschrift toegelicht.

In dezelfde figuur is te zien hoe we de „hoogfrequente" bijstroom opwekken, die bij de normale registratie altijd op het signaal wordt gesuperponeerd en die ook in ons geval desgewenst aan de schrijfkop moet kunnen worden toegevoerd. Gemakshalve hebben we voor de bijstroom de netfrequentie van 50 Hz gekozen. (Op zichzelf zou een frequentie van enkele Hz al hoog genoeg zijn om de geschreven golflengte van de bijstroom, ook bij onze grootste bandsnelheid, kleiner te maken dan de diameter van de monsters die we meten.) De bijstroom moet tot 60 A kunnen bedragen. De spanning op de wikkeling van de schrijfkop (zelfinductie 35 mH) wordt dan ongeveer 700 V, een waarde waarbij men nog niet met isolatiemoeilijkheden te maken krijgt. De verliezen in de schrijfkop, door wervelstromen enz., bedragen ca. 2,5 kW.

Ook het registreren van impulsen kan in het model worden bestudeerd. Hiertoe kan aan de schrijfkop een gelijkstroom van maximaal ca. 70 A worden toegevoerd, waarvan het in- of uitschakelen de steile flank van een impuls nabootst.

In fig. 3 zijn alle voorzieningen voor het opwekken en regelen van de verschillende aan de schrijfkop toe te voeren stromen op de achtergrond te zien.

De eerste metingen werden uitgevoerd aan een „band", bestaande uit willekeurig georiënteerde korrels gedispergeerd in vaseline. In de banden die in de praktijk van de magnetische registratie worden gebruikt, zijn de korrels meestal naaldvormig. Ze hebben dan één magnetische voorkeursrichting, en deze komt door het fabricageproces in hoofdzaak in de lengterichting van de band te liggen. We hebben naderhand een methode voor het vervaardigen van onze band gekozen waarbij ook deze voorkeursoriëntatie wordt nagebootst. Voor de meetstrook gebruiken we nu nl. een kunststof met gedispergeerde korrels die wordt uitgewalst, waardoor de korrels worden gericht. De ruimte van de bak aan weerszijden van de verwisselbare meetstrook is met een groot aantal op dezelfde wijze vervaardigde en nauw opeengeperste kunststofstroken gevuld.

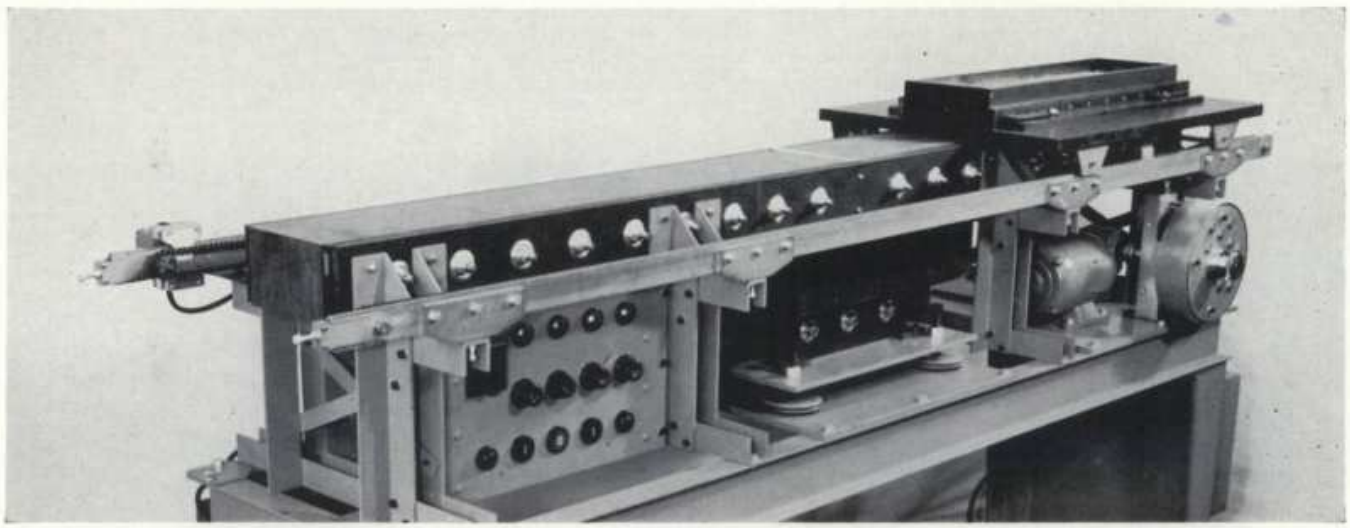

Fig. 6. Model van schrijfkop en band in de tegenwoordige vorm. De poolschoenen van de kop zijn zodanig verlengd dat de bak met het bandmateriaal de einden hiervan niet passeert. De bak wordt in deze uitvoering met twee kettingen over de rolbaan getrokken, wat bij hoge snelheden een gelijkmatiger beweging bleek te leveren dan een schroefas.

Bij de eerste experimenten met het toestel bleek spoedig dat de in verhouding veel te kleine lengte der poolschoenen van de schrijfkop aanleiding gaf tot storende randeffecten: de veldconcentratie aan de randen (*R* in fig. 2) had nog invloed op de resulterende magnetisatie in de band na passeren van de spleet. Nabootsing van de poolschoenen op schaal 5000 : 1 is niet goed mogelijk (ze zouden dan enige tientallen meters lang moeten worden), maar de randeffecten worden al vermeden als de poolschoenen maar zo lang zijn dat het door ons gebruikte stukje band de einden niet passeert. Bij een nieuwe versie van het toestel, waarbij ook de bandsnelheid tussen veel wijder grenzen kan worden gevarieerd, hebben we aan deze voorwaarde voldaan (*fig. 6*).

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

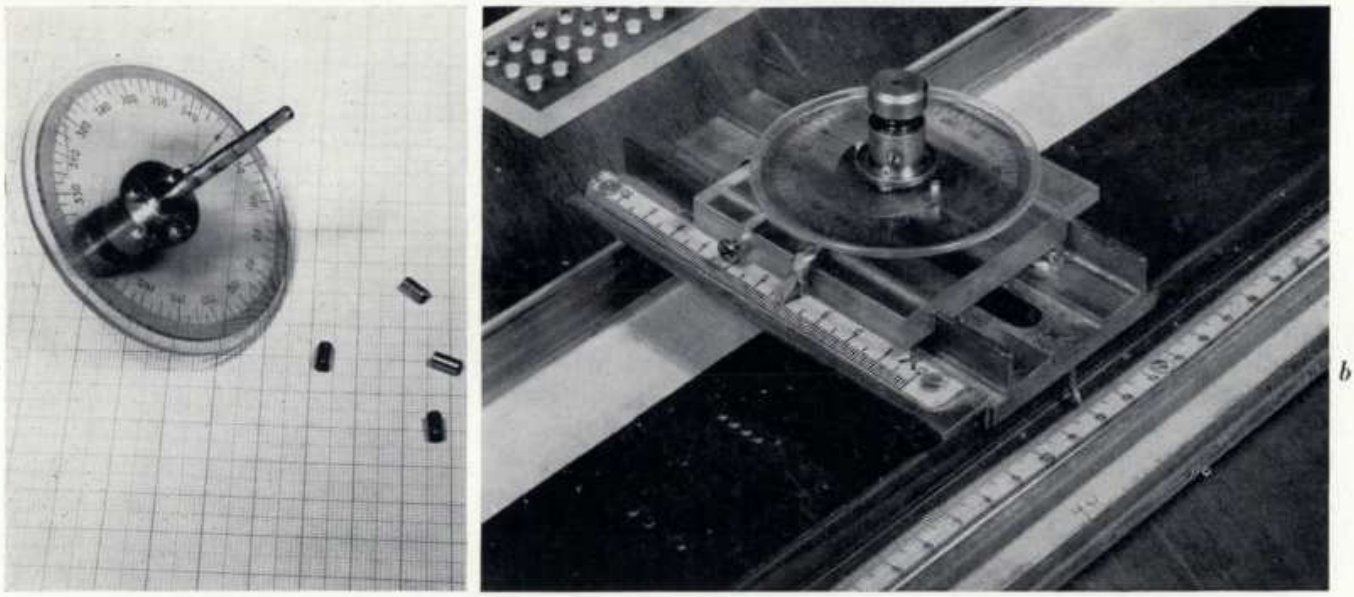

Fig. 7. Toestelletje voor het uitprikken van schijfvormige monsters uit de 0,5 mm dikke middenstrook van de band.
a) Houder op welks uiteinde een van de verwisselbare dopjes wordt geschoven, waaraan het monster komt te zitten.
b) Glijbaan en slede waarmee de houder boven elk gewenst punt van de band kan worden gebracht. Prikken is alleen mogelijk als de nulrichting van de gradenboog, die aan de houder is bevestigd, evenwijdig aan de lange glijbaan ligt (longitudinale richting van de band). Uit de band zijn hier reeds enkele monsters genomen.

Fig. 8. Opstelling voor het meten van grootte en richting van de magnetisatie van elk monster. Rechts vooraan de eigenlijke magnetometer, waarin de houder met gradenboog en monster wordt geplaatst. Zie de nadere toelichting bij fig. 9. De door het gemagnetiseerde monster opgewekte wisselspanning wordt vergeleken met die, opgewekt door een referentiemagneetje. Door draaien van de houder van het monster worden de fazen der beide wisselspanningen gelijk gemaakt, door regeling van een geijkte verzwakker de amplitudes. — Om de invloed van de ontmagnetiseringsfactor van het monster bij benadering te elimineren, wordt elk monster na de meting nog even tot de verzadiging gemagnetiseerd (hiervoor dient de magneetspoel die men vóór de oscilloscoop ziet), en de grootte van het magnetisch-moment van de remanentie op dezelfde wijze met de magneto-meter bepaald. Het dopje met het monster wordt hierna van de houder verwijderd en een nieuwe meting kan beginnen.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info

Het meten van de monsters

De monsters — schijfjes van 3 mm diameter — worden uit de 0,5 mm dikke middenstrook van onze „band" geprikt met een toestelletje dat in *fig. 7* is afgebeeld. De houder waaraan het monster komt te zitten, draagt een gradenboog; deze staat bij het prikken, dank zij twee leistiften, met zijn nulrichting altijd precies in de lengterichting van de band. Op de cm-schalen kan de plaats van elk monster op $\frac{1}{2}$ mm nauwkeurig worden afgelezen. Grootte en richting van het magnetisch moment van elk monster worden vervolgens bepaald met een meetapparatuur die in *fig. 8* en *9* is weergegeven. Het principe hiervan is hetzelfde als van de bekende magnetometers waarbij men het monster tussen de poolschoenen van het magnetisch circuit van een spoel laat roteren. Faze en grootte van de in de spoel geïnduceerde wisselspanning geven richting en grootte van het magnetisch moment van het monster. In onze opstelling zijn alleen de rollen verwisseld: het met de houder in het apparaat geplaatste monster staat stil, de twee poolschoenen roteren met 175 omw/s hieromheen, terwijl we de spoel en het overige gedeelte van het magnetisch circuit gemakshalve ook stil laten staan. De kleine luchtspleet die we daarbij tussen dit gedeelte en de poolschoenen moeten toelaten (*l* in fig. 9*a*), doet praktisch geen kwaad. Het voordeel van deze opstelling is dat het overgaan van een monster tot het volgende zeer weinig tijd en moeite kost — een belangrijke voorwaarde voor de grote meetseries die voor elk experiment nodig zijn.

De eigenlijke meting geschiedt volgens een nulmethode: grootte en faze van de geïnduceerde wisselspanning worden op een oscilloscoop vergeleken met die van een referentiesignaal, dat in een hulpspoeltje wordt opgewekt door een magneetje op de as van de roterende poolschoenen (fig. 9*b*). Door de houder met het monster over een bepaalde hoek te draaien, maakt men de fazen van beide signalen gelijk en tevens maakt men met behulp van een regelbare verzwakker de amplitudes gelijk. Men kan dan de richting van het magnetisch moment van het monster op ca. $\frac{1}{2}°$ nauwkeurig op de schaal van de houder aflezen, en aan de verzwakker de grootte van het magnetische moment.

Een nadeel van de beschreven meetopstelling is de gevoeligheid voor constante stoorvelden. Hiertegen is een goede mu-metalen afscherming aangebracht.

De magnetische momenten van de uit de band geprikte monsters geven niet direct de magnetisatie in situ, waarvoor we ons interesseren: na het uitprikken is de magnetische toestand onderhevig aan een ontmagnetiserend veld (of nauwkeuriger: aan een ander ontmagnetiserend veld dan in de band). Experimenteel is gebleken dat we de invloed hiervan

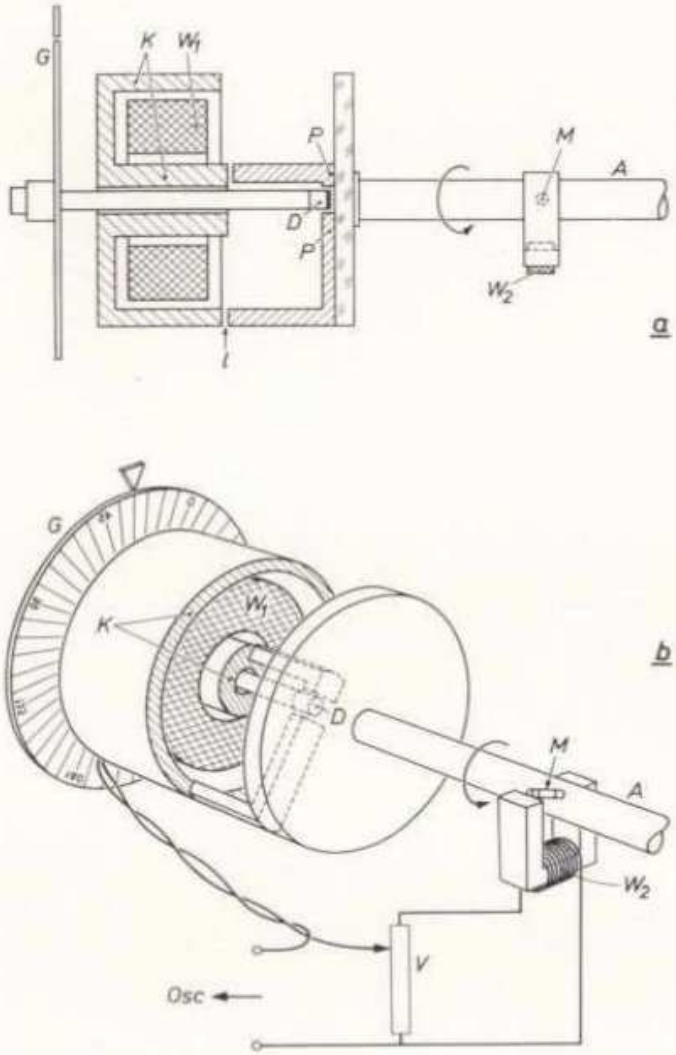

Fig. 9. *a*) Principe van de magnetometer voor het meten van de monsters. *D* dopje met gemagnetiseerd monster aan uiteinde van de houder met gradenboog *G*. De houder staat stil, kan echter met de hand in elke gewenste stand gedraaid worden. De ijzerkern *K* met wikkeling W_1 staat eveneens stil, maar de poolschoenen *P* van dit magnetische circuit, die door een kleine luchtspleet *l* gescheiden zijn van de kern *K*, zijn bevestigd aan de as *A* en roteren met 175 omw/s om het monster. In de perspectivische schets (*b*) ziet men dat de as tevens een referentiemagneetje *M* draagt, dat in de wikkeling W_2 een wisselspanning opwekt. De in W_1 door het monster geïnduceerde wisselspanning wordt met die in W_2 naar faze en amplitude gelijk gemaakt door draaien van de houder en door regelen van de verzwakker *V*, hetgeen op een oscilloscoop (*Osc*) wordt gecontroleerd.

met voldoende benadering kunnen elimineren — tegelijk met de invloed van een eventuele inhomogeniteit van de dispersie — door van elk monster ook het magnetisch moment van de remanente magnetisatie na verzadiging te bepalen en het gemeten moment van de geregistreerde magnetisatie telkens hierdoor te delen.

Digitized in Heilo

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

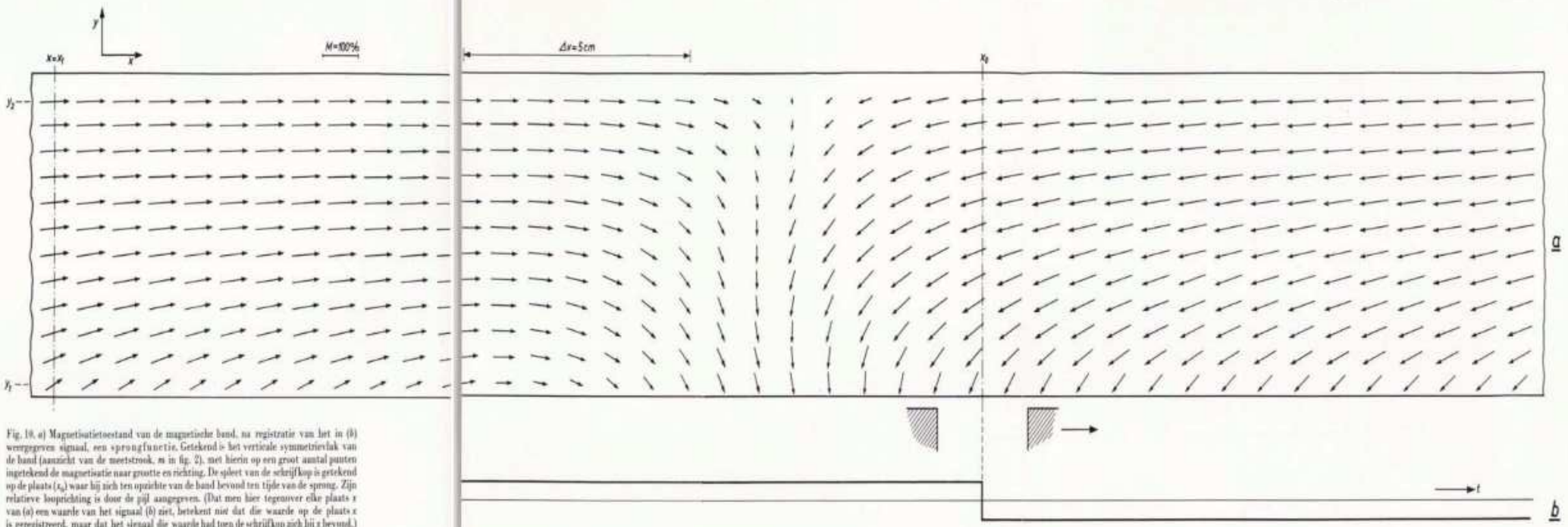

Fig. 10. a) Magnetisatietoestand van de magnetische band, na registratie van het in (b) weergegeven signaal, een sprongfunctie. Getekend is het verticale symmetrievlak van de band (aanzicht van de meetstrook, m in fig. 2), met hierin op een groot aantal punten ingetekend de magnetisatie naar grootte en richting. De spleet van de schrijfkop is getekend op de plaats (x_0) waar bij zich ten opzichte van de band bevond ten tijde van de sprong. Zijn relatieve looprichting is door de pijl aangegeven. (Dat men hier tegenover elke plaats x van (a) een waarde van het signaal (b) ziet, betekent niet dat die waarde op de plaats x is geregistreerd, maar dat het signaal die waarde had toen de schrijfkop zich bij x bevond.)

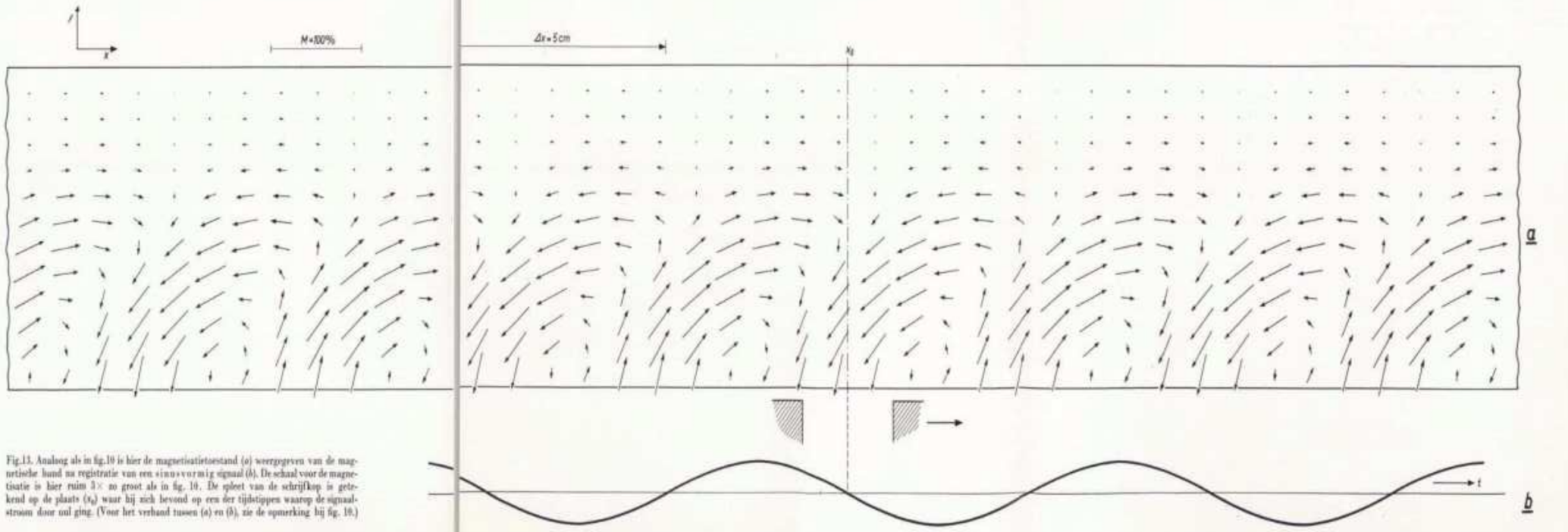

Fig.13. Analoog als in fig.10 is hier de magnetisatietoestand (a) weergegeven van de magnetische band na registratie van een sinusvormig signaal (b). De schaal voor de magnetisatie is hier ruim 3× zo groot als in fig. 10. De spleet van de schrijfkop is getekend op de plaats (x_0) waar bij zich bevond op een der tijdstippen waarop de signaalstroom door nul ging. (Voor het verband tussen (a) en (b), zie de opmerking bij fig. 10.)

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Enkele meetresultaten

Tot besluit willen we hier nog enkele meetresultaten meedelen, zoals die bij de eerste experimenten met de opstelling zijn verkregen.

In *fig. 10a* is een meetstrook getekend, d.i. dus een stuk van het verticale symmetrievlak van de magnetische laag. De magnetisatie, ontstaan door registreren van een bepaald signaal, is in deze doorsnede aangegeven door op een groot aantal punten de magnetisatievector op schaal en met de gemeten richting in te tekenen. Het signaal was hier een sprongfunctie, nl. een gelijkstroom die op een bepaald ogenblik van positief naar negatief werd omgeschakeld (fig. 10*b*). De registratie geschiedde zonder hoogfrequente bijstroom.

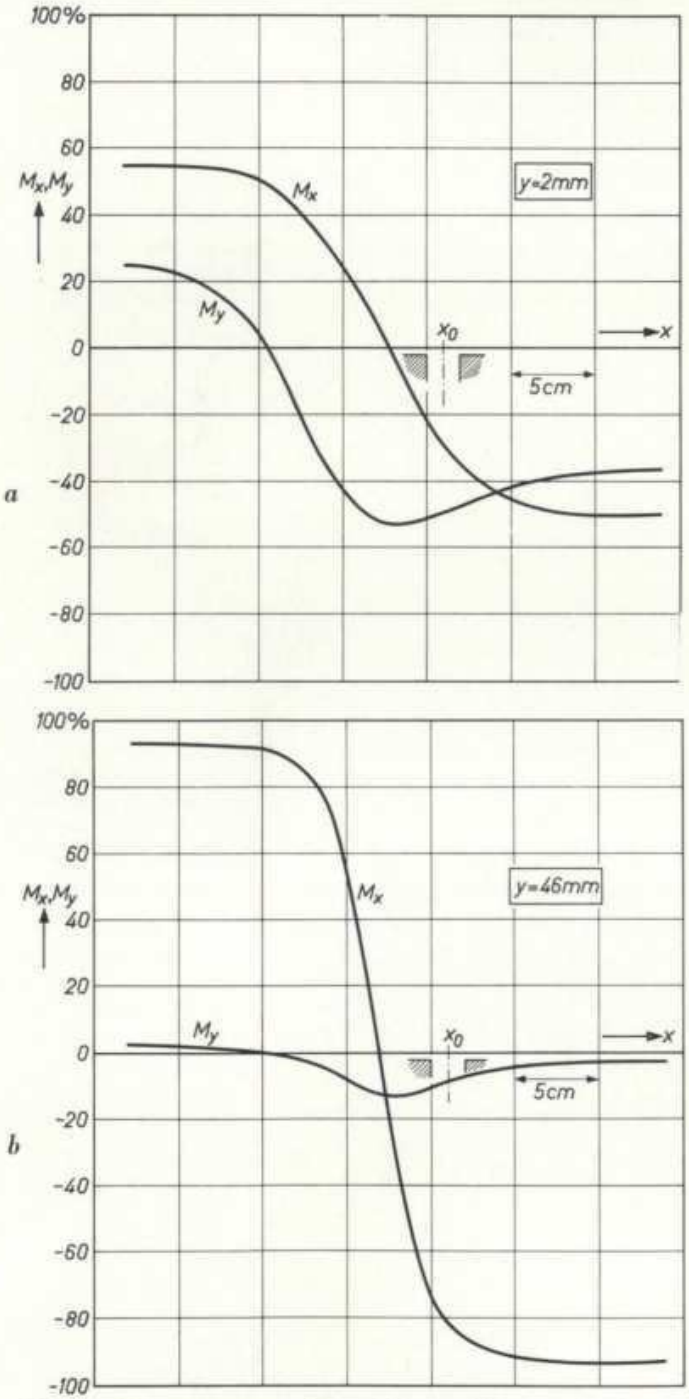

Fig. 11. De componenten M_x en M_y van de magnetisatie, gemeten bij de in fig.10 weergegeven registratie, zijn hier uitgezet als functie van de plaats x op een gegeven diepte y in de band, en wel *a*) op een diepte $y_1 = 2$ mm, *b*) op een diepte $y_2 = 46$ mm. Deze diepten zijn in fig. 10*a* aangegeven.

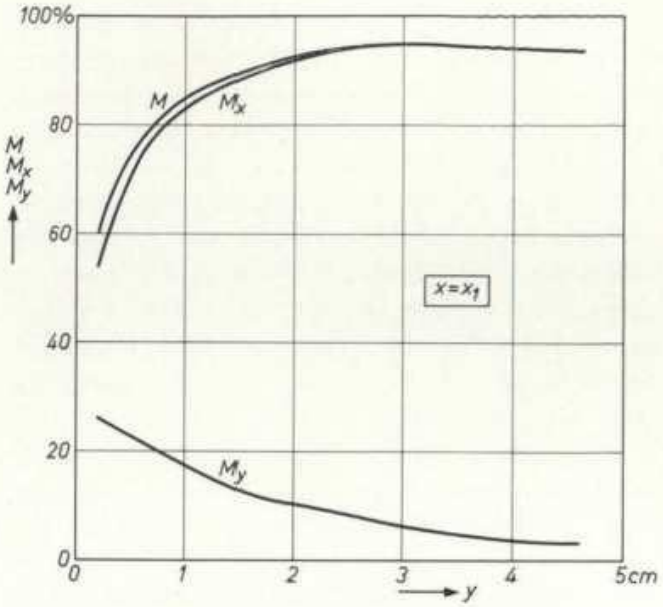

Fig.12. Grootte M van de magnetisatie, en componenten M_x en M_y, gemeten bij de in fig.10 weergegeven registratie, uitgezet als functie van de diepte y in de band op een bepaalde plaats x_1. De doorsnede x_1 is in fig.10*a* aangegeven.

De krommen beginnen ten gevolge van de eindige diameter van de te meten monsters pas bij $y = 2$ mm.

Voor een meer kwantitatieve weergave van de meetresultaten zetten we de longitudinale en de verticale component van de magnetisatie, M_x en M_y, uit als functie van de plaats x op een gegeven diepte y in de band, en ook als functie van de diepte y op een gegeven plaats x van de band. Het eerste is voor de meetresultaten van fig. 10 gedaan in *fig. 11*, en wel voor twee verschillende diepten, $y_1 = 2$ mm en $y_2 = 46$ mm. Bij het omkeren van de stroomrichting blijkt de component M_x op diepte y_2 abrupter van richting om te keren dan op diepte y_1, d.w.z. de scherpte waarmee de sprong geregistreerd wordt, is diep in de band beter dan aan het oppervlak. Het gedrag van de component M_y werkt hiertoe mee. M_y blijkt merkwaardig genoeg niet tegelijk met M_x om te keren, doch aanzienlijk „eerder", d.w.z. op grotere afstand x achter de relatief zich verplaatsende spleet. Aan het oppervlak maakt dit de sprong nog minder scherp gedefinieerd, in de diepte heeft de scherpte er niet van te lijden, daar M_y daar slechts heel klein is.

In *fig. 12* zijn de waarden M_x en M_y op de andere genoemde manier uitgezet, nl. als functie van de diepte y op een gegeven plaats x van de band, en wel is gekozen een plaats $x_1 = 21$ cm vóór de doorsnede (x_0) die op het moment van omschakelen van de stroom juist de spleet passeerde. Het bandmateriaal bij x_1 heeft geen weet van de sprong die zal optre-

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

den en heeft dus een zuivere gelijkstroom „gezien". Uit de krommen volgt — wat men ook in fig. 10 ziet — dat dan de magnetisatie nabij het bandoppervlak een vrij grote hoek met de lengterichting insluit. De absolute waarde M van de magnetisatie, die in fig. 12 eveneens is uitgezet, is overal geringer dan de remanentie die uit de gegeven veldsterkte zou volgen. Dit is vermoedelijk een gevolg van het draaien van het veld tijdens het registratieproces. Andere onderzoekers hebben kort geleden langs geheel andere weg een soortgelijk resultaat gevonden [1]).

In *fig. 13a* is op dezelfde manier als in fig. 10 de magnetisatietoestand van de magnetische laag weergegeven na het registreren van een sinusvormig signaal. Dit signaal is in fig. 13*b* geschetst. Op het in dit geval optredende, veel ingewikkelder beeld, willen we op deze plaats niet nader ingaan.

Om echter nog wat duidelijker te maken, van welke aard de theoretische problemen zijn die we met de beschreven opstelling nader tot een oplossing hopen te brengen, bespreken we als laatste voorbeeld het resultaat van een registratie van een eenvoudige gelijkstroom, doch nu mèt hoogfrequente bijstroom. Hierbij werd nog het ongerichte bandmateriaal gebruikt. In *fig. 14* zijn de grootte van de magnetisatie M alsmede de longitudinale en de verticale component M_x en M_y weer als functie van de diepte y in de laag uitgezet, en wel voor een bijstroom met amplitude 20 A en een gelijkstroom van 1 A. Het resultaat verschilt aanmerkelijk van dat zonder bijstroom: de longitudinale component M_x neemt nu tot zekere diepte y ongeveer evenredig met y toe. De totale magnetisatie is aan het oppervlak aanzienlijk kleiner dan wat dieper in de laag.

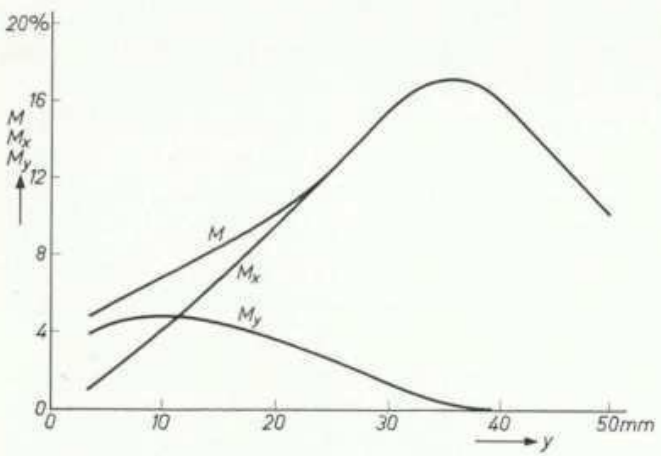

Fig.14. Gemeten magnetisatie M en componenten M_x, M_y, uitgezet als functie van de diepte y, voor een signaal bestaande uit een gelijkstroom (1 A) met een hoogfrequente bijstroom (20 A).

Een dergelijke magnetisatie is voor de weergave veel ongunstiger dan een homogene magnetisatie van de gehele magnetische laag. Men kan uitrekenen dat bij lange golven het verkregen uitgangssignaal in het laatste geval ca. 3 dB sterker zou worden (ondersteld dat men in beide gevallen registreert met zodanige stroomsterkte dat men eenzelfde niet-lineaire vervorming door de gekromde B-H-lijn krijgt), en bij korte golven wordt het verschil nog erger.

Het ontstaan van een magnetisatietoestand als in fig.14 is gedeeltelijk als volgt te begrijpen [2]). Volgens de tot dusver bestaande theorie [3]) vindt de eigenlijke registratie plaats in een, even voorbij de hartlijn van de luchtspleet van de schrijfkop gelegen, ringvormige zone, waar de amplitude van het bijveld ongeveer gelijk is aan de coërcitie van het bandmateriaal; zie *fig. 15*. Dit wil zeggen dat elk gedeelte

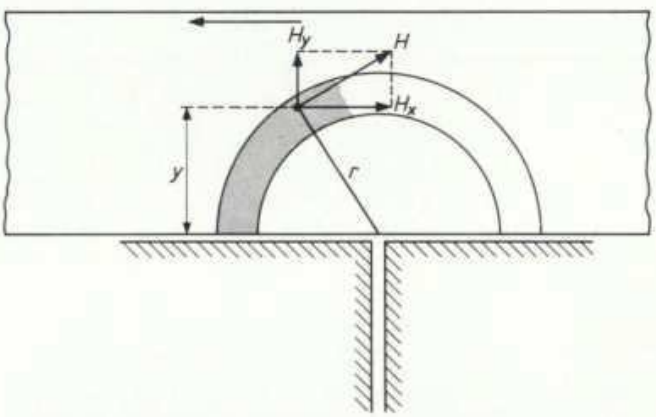

Fig.15. Het eigenlijke registreren speelt zich af in een bepaalde zone van de ruimte om de spleet (de „schrijfzone", geschaduwd aangegeven), waar de amplitude van het door de bijstroom opgewekte veld H ongeveer gelijk is aan de coërcitie van het bandmateriaal.

van de band uit het gebeuren te voorschijn komt met een magnetisatie M evenredig aan de signaalveldsterkte die het ondervond op het ogenblik waarop dat gedeelte de genoemde „schrijfzone" passeerde. Was de band niet aanwezig, dan zouden de veldsterkten H_x en H_y in deze zone in eerste benadering bedragen:

$$H_x = \frac{niy}{\pi r^2},$$

$$H_y = -\frac{ni\sqrt{r^2 - y^2}}{\pi r^2},$$

waarbij n het windingstal, i de signaalstroom en r de (mede door de bijstroom bepaalde) straal van de schrijfzone is. Deze veldverdeling zou een verloop van M_x en M_y als functie van y ten gevolge hebben

[1]) H. S. Templeton en G. Bate, Proc. Intermag. Conf. Washington 1963, blz. 7-4.

[2]) D. L. A. Tjaden, Proc. 3e Int. Congr. Akoestiek, Stuttgart 1959, deel II, blz. 758.

[3]) W. K. Westmijze, Philips Res. Repts. **8**, 250, 1953.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

als geschetst in *fig. 16*. Men ziet dat de krommen van fig.14 tot op zekere hoogte (of liever diepte) heel aardig hiermee kloppen, behalve dat de verticale component M_y in sterke mate is gereduceerd. Dit effect, dat aansprakelijk is voor het bovenvermelde verlies in de weergave, moet worden toegeschreven aan de ontmagnetiserende invloed van het bandgedeelte dat reeds met een zekere magnetisatie de schrijfzone heeft verlaten.

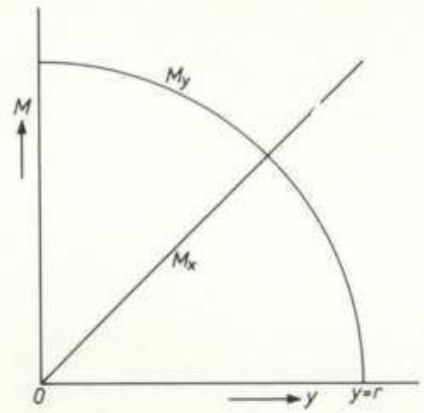

Fig.16. Uit fig.15 afgeleid theoretisch verloop van M_x en M_y als functie van y, voor registratie van eenzelfde signaal als gebruikt voor fig.14.

Deze ontmagnetiserende invloed is een van de factoren die uitvoerig zullen worden onderzocht. De grote afmetingen van de opstelling maken het mogelijk, daarbij nog andere technieken toe te passen dan het meten aan monsters na een registratie. Zo ligt het in het voornemen, metingen te doen waarbij tijdens het registreren een aantal op de meetstrook aangebrachte zeer kleine Hall-plaatjes meelopen, waardoor de plaatselijke velden en ook de wisselingen daarvan, zowel bij registreren van gelijkstroom als van wisselstroom, rechtstreeks kunnen worden waargenomen en oscillografisch vastgelegd. Over deze onderzoekingen zal te zijner tijd verslag worden uitgebracht.

We vermelden tot slot dat de apparatuur in eerste aanleg is opgezet in samenwerking met G. W. van Oosterhout. De constructie is grotendeels uitgevoerd door J. R. P. N. Crüts. Het thans gebruikte, georiënteerde bandmateriaal is tot stand gekomen mede dank zij M. L. van Splunder van Philips' Kunststoffenlaboratorium en in samenwerking met het Kunststoffeninstituut T.N.O. te Delft.

Samenvatting. Bij magnetische registratie wordt de magnetische laag van de langs de schrijfkop getrokken band over de gehele dikte gemagnetiseerd. Er is nog heel weinig bekend over de wijze waarop de grootte en de richting van deze magnetisatie als functie van de diepte in de band variëren. Om gegevens hierover te krijgen, heeft men in het Philipslaboratorium te Eindhoven een toestel voor magnetische registratie geconstrueerd waarbij alle essentiële afmetingen (spleet van de schrijfkop, dikte van de band, geschreven golflengte) een factor 5000 zijn vergroot. Mits ook het aantal amperewindingen van de schrijfkop met deze factor wordt vergroot — waarvoor een nogal ongewone voedingsapparatuur moest worden gebouwd — is de verkregen magnetisatietoestand in de band (afgezien van fluctuatieverschijnselen) een getrouw beeld van die bij de normale registratie. De „band" bevat een verwisselbare middenstrook, 5 cm breed en $\frac{1}{2}$ mm dik, waaruit na registratie van een signaal vele kleine monsters worden geprikt. Hiervan wordt de magnetisatie naar grootte en richting met behulp van een speciale apparatuur gemeten.

Enkele tot dusver verkregen meetresultaten worden besproken en hun theoretische betekenis wordt aangestipt.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

ENKELE EENVOUDIGE ACTIEVE FILTERS VOOR LAGE FREQUENTIES

door G. KLEIN *) en J. J. ZAALBERG van ZELST *). 621.372.542.2

De laatste jaren b staat er een toenemende belangstelling voor elektrische metingen bij zeer lage frequenties, waardoor behoefte is ontstaan aan filters voor dit frequentiegebied. Het gebruik van spoelen, die gewoonlijk in filters voor hogere frequenties worden toegepast, heeft bij lage frequenties bepaalde bezwaren. De auteurs beschrijven in dit artikel enkele schakelingen waarmede men het gebruik van spoelen kan vermijden.

Inleiding

Om aan schakelingen eigenschappen te geven die op bepaalde wijze van de frequentie afhangen, heeft men van oudsher in de radiotechniek en in andere takken van de elektrotechniek condensatoren en spoelen gebruikt. Deze beide schakelelementen hebben eigenschappen die in zekere mate aan elkaar tegengesteld zijn. Bij het aanleggen van een wisselspanning vloeit in een condensator een wisselstroom die ten opzichte van de spanning in faze voor is, terwijl in een spoel de stroom in faze achter is. Verder neemt bij een condensator de reactantie (wisselstroomweerstand) met toenemende frequentie af, bij een spoel daarentegen toe.

Tot de passieve schakelingen die uit combinaties van condensatoren en spoelen worden opgebouwd, behoren de elektrische filters, die dienen om signalen met bepaalde frequenties te scheiden van die met andere frequenties. Hiervoor is het gebruik van condensatoren *en* spoelen niet strikt noodzakelijk. Men kan nl. een filter samenstellen met uitsluitend één van deze elementen, in combinatie met weerstanden. Met een combinatie van spoelen en condensatoren kan echter op eenvoudige wijze een veel scherpere scheiding tussen gewenste en ongewenste signalen worden verkregen.

Eén der eenvoudigste en meest bekende passieve filternetwerken is de *L-C*-kring, die men kan beschouwen als te zijn samengesteld uit de parallelschakeling van een condensator, een spoel (beide verliesvrij) en een weerstand (zie *fig. 1*). Van een dergelijke kring is de modulus van de impedantie maximaal bij de resonantiefrequentie

$$\omega_0 = 1/\sqrt{LC}. \quad \ldots\ldots\ldots \quad (1)$$

Bij een willekeurige waarde ω van de frequentie kan de impedantie worden geschreven in de vorm:

$$Z(\omega) = \frac{R}{1 + j\beta Q}, \quad \ldots\ldots \quad (2)$$

waarin β een verkorte schrijfwijze voor $\omega/\omega_0 - \omega_0/\omega$ is. Is $|\omega - \omega_0|$ klein ten opzichte van ω_0, dan kan kan men voor β schrijven:

$$\beta = \frac{2(\omega - \omega_0)}{\omega_0}.$$

In dit geval is β dus tweemaal de „relatieve verstemming".

In formule (2) is verder Q de zg. kwaliteitsfactor, die hier gegeven is door:

$$Q = \frac{R}{\omega_0 L} = \omega_0 CR. \quad \ldots\ldots \quad (3)$$

De modulus van de impedantie Z, uitgezet als functie van de frequentie, heeft de vorm van de bekende resonantiekromme (fig.1). Deze kromme is smaller, d.w.z. de kring is selectiever, naarmate de waarde van Q groter is. Het verschil tussen de twee frequenties waarbij $|Z|$ een factor $\sqrt{2}$ kleiner is dan de maximale waarde, wordt gewoonlijk de bandbreedte genoemd.

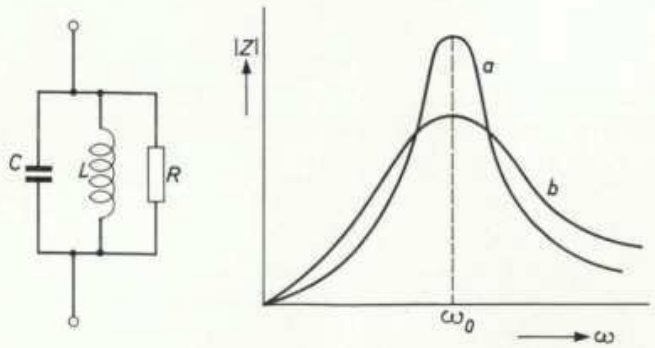

Fig. 1. Links: trillingskring, bestaande uit de parallelschakeling van een spoel, een condensator en een weerstand (*L-C*-kring). Rechts: frequentiekarakteristiek (resonantiekromme) voor twee *L-C*-kringen. De resonantiefrequentie is ω_0. Van de twee kringen heeft die waarvoor de kromme *a* geldt, de hoogste waarde van de kwaliteitsfactor Q.

Filters voor zeer lage frequenties

De laatste jaren valt een toenemende belangstelling waar te nemen voor elektrische metingen bij zeer lage frequenties. Zo worden op fysisch en chemisch terrein vaak metingen gedaan met wisselend licht; wij noemen als voorbeelden de meting van foto-

*) Philips' Natuurkundig Laboratorium, Eindhoven.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

geleiding en absorptiemetingen van licht in vloeistoffen en kristallen. Het periodiek onderbreken van het licht geeft hierbij de mogelijkheid om wisselspanningsversterkers te gebruiken, die gemakkelijker zijn te maken en te bedienen dan gelijkspanningsversterkers. Ook bij verschillende elektro-medische metingen zijn zeer lage frequenties belangrijk, met name in de cardiografie, de encefalografie en de myografie.

In een aantal van deze gevallen wenst men te beschikken over filters die bij de lage meetfrequenties storingen zo goed mogelijk elimineren. Soms zijn ook filters nodig om signalen met verschillende zeer lage frequenties van elkaar te scheiden. Met name is dit het geval in de encefalografie, waar soms harmonische analyse van de hersenspanningen wordt toegepast omdat het al of niet aanwezig zijn van spanningen met bepaalde frequenties o.a. van belang is voor de diagnose van epilepsie. Om een indruk te geven van het scheidend vermogen dat in een dergelijk geval wordt gewenst, zij vermeld dat men van een filter soms verlangt dat het bij een centrale frequentie van 30 Hz een bandbreedte van 1 Hz heeft.

Naarmate men filters voor lagere frequenties wil construeren, heeft men blijkens (1) condensatoren met grotere capaciteit en/of spoelen met grotere zelfinductie nodig. Voor wat betreft de condensatoren, treden hierbij in de regel geen onoverkomelijke moeilijkheden op; door het vergroten van de oppervlakte van de bekleedsels en het dunner maken van het diëlektricum kan men de capaciteit van een in een bepaald volume ondergebrachte condensator vergroten. De constructie van spoelen met een zeer grote zelfinductie gaat echter veelal gepaard met grote, en vaak zelfs onoverkomelijke, moeilijkheden. Zulke spoelen worden altijd voorzien van een kern, die kan bestaan uit platen van een ijzerlegering of uit ferroxcube. Hierdoor worden spoelen met grote L steeds betrekkelijk groot en zwaar. Hetzelfde effect heeft het grotere windingstal dat voor een grotere zelfinductie nodig is.

Behalve het bezwaar van grote afmetingen en/of gewicht zijn aan het gebruik van spoelen met grote waarde van L nog andere bezwaren verbonden. De prijs van dergelijke spoelen is in de regel hoog, enerzijds doordat er veel materiaal in wordt verwerkt, anderzijds doordat de vervaardiging tijdrovend is. Een eenmaal vervaardigde spoel is weinig „flexibel", waarmede wij hier bedoelen dat aan de eigenschappen moeilijk nog iets is te veranderen. Zo is een wijziging van de zelfinductie in de meeste gevallen uitgesloten. Dit, gecombineerd met het feit dat bij de vervaardiging een vrij grote spreiding in de produkten niet is te vermijden, kan het moeilijk maken een spoel met een bepaalde voorgeschreven zelfinductie te vervaardigen. Hierbij komt nog dat de eigenschappen van de hier bedoelde spoelen gewoonlijk sterker met de temperatuur variëren dan die van de meeste andere schakelelementen. Ten slotte willen wij nog vermelden dat vaak moeilijkheden ontstaan door de doorgaans noodzakelijke afscherming tegen storende magnetische wisselvelden. Bij lage frequenties moet men hiervoor mantels van ferromagnetisch materiaal gebruiken, eventueel gecombineerd met een of meer mantels van elektrisch goed geleidend materiaal. Hierdoor nemen het gewicht en de prijs wederom toe.

De opgesomde bezwaren tegen het gebruik van grote spoelen hebben ertoe geleid dat schakelingen zijn ontwikkeld die, zonder zelf spoelen te bevatten, dezelfde eigenschappen bezitten als schakelingen mèt spoelen. Een bekend voorbeeld is de tegengekoppelde versterker, waarbij in de tegenkoppelketen een dubbel-T-filter is opgenomen, dat uit condensatoren en weerstanden is opgebouwd [1]). Een dergelijke schakeling heeft eigenschappen die overeenkomen met die van een L-C-kring. Het instellen is echter tamelijk bewerkelijk, vooral als men enige versterkers die op verschillende frequenties zijn afgestemd, in cascade wil gebruiken.

De bedoeling van dit artikel is, de aandacht te vestigen op een type filter waarmede vaak dezelfde of betere resultaten zijn te bereiken en dat eenvoudiger is in te stellen dan de hierboven genoemde tegengekoppelde versterker. Dit filtertype is op zichzelf reeds lang bekend; wij zullen hier echter, na een beknopte behandeling van de eigenschappen, de nadruk leggen op enkele minder bekende aspecten ervan. Met name zal worden gewezen op het feit dat door bepaalde maatregelen met de hier bedoelde filters een grote nauwkeurigkeid kan worden bereikt, terwijl ook enkele minder bekende toepassingsmogelijkheden ter sprake zullen komen [2]).

Het principe van de schakeling

Ons uitgangspunt is een versterkertrap met weerstandskoppeling, waarvan in *fig. 2* een schema is getekend. Parallel met de weerstand R_1 in de anodeketen van de buis B_1 is een condensator C_1 geschakeld, terwijl de uitgangsspanning V_{g2} [3]) van de anode

---

[1]) Zie voor een beschrijving van een dergelijk filter b.v. G. Klein en J.J. Zaalberg van Zelst, Een niet-lineair belastbare laagfrequentieoscillator met zeer kleine vervorming, Philips techn. T. **25**, 20-29, 1963 (no. 1), blz. 25.

[2]) Een speciale toepassing is b.v. beschreven door K. Teer, Philips techn. T. **25**, 74-76, 1963 (no. 3).

[3]) De notatie V_{g2} wordt hier gebruikt omdat in het hierna volgende deze spanning aan het rooster van een andere buis wordt gelegd (zie b.v. fig. 4).

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

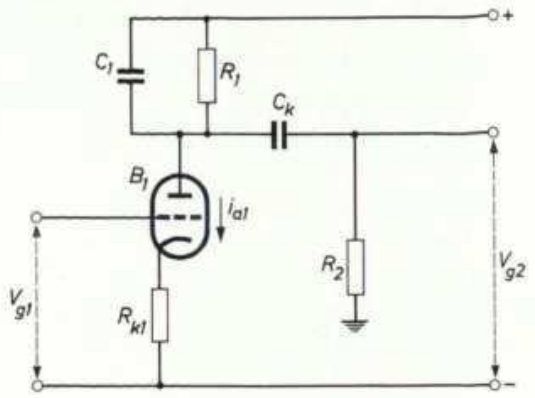

Fig. 2. Versterkertrap met weerstandskoppeling.

wordt afgenomen via een condensator-weerstandskoppeling C_k-R_2. Men kan gemakkelijk aantonen dat het verband tussen de complexe uitdrukkingen voor de anodewisselstroom i_{a1} van B_1 en de spanning V_{g2} als volgt luidt:

$$\frac{V_{g2}}{i_{a1}} = \frac{-j\omega R_1 R_2 C_k}{1 + j\omega(R_1C_1 + R_1C_k + R_2C_k) - \omega^2 R_1 R_2 C_1 C_k} \quad \ldots \quad (4)$$

Hetzelfde verband tussen V_{g2} en i_{a1} zou men hebben gevonden als men in de anodeketen van B_1 een afgestemde kring had opgenomen, bestaande uit een parallelschakeling van een weerstand R', een zelfinductie L' en een capaciteit C' (zie *fig. 3*). Deze drie elementen zouden dan de volgende grootten dienen te hebben:

$$R' = \frac{R_1 R_2 C_k}{R_1C_1 + R_1C_k + R_2C_k}, \quad \ldots \quad (5)$$

$$L' = R_1 R_2 C_k, \quad \ldots \quad (6)$$

$$C' = C_1. \quad \ldots \quad (7)$$

De resonantiefrequentie van deze equivalente kring zou dus zijn:

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{L'C'}} = \frac{1}{\sqrt{R_1 R_2 C_1 C_k}}, \quad \ldots \quad (8)$$

en de kwaliteitsfactor:

$$Q = \frac{R'}{\omega_0 L'} = \frac{\sqrt{R_1 R_2 C_1 C_k}}{R_1C_1 + R_1C_k + R_2C_k}. \quad \ldots \quad (9)$$

Het quotiënt van V_{g2} en i_{a1} kan dan geschreven worden in de vorm:

$$\frac{V_{g2}}{i_{a1}} = \frac{-R'}{1 + j\beta Q}. \quad \ldots \quad (10)$$

Is de in de katodeleiding van B_1 opgenomen weerstand R_{k1} groot ten opzichte van de reciproke waarde van de steilheid, en is bovendien de versterkingsfactor van B_1 zeer groot, dan geldt $i_{a1} = V_{g1}/R_{k1}$, zodat (10) dan overgaat in:

$$V_{g2} = \frac{-R'}{R_{k1}(1 + j\beta Q)} V_{g1}. \quad \ldots \quad (11)$$

Ook bij normale versterkertrappen treedt de gesignaleerde analogie met L-C-kringen op. Als capaciteit C_1 fungeren dan in de regel de anodecapaciteit van de buis en de capaciteit van de bedrading. Ter oriëntatie zullen wij in de formules (5) t/m (9) enkele hierbij gangbare waarden invullen, nl.

$R_1 = 10\ \text{k}\Omega$, $R_2 = 1\ \text{M}\Omega$, $C_1 = 10\ \text{pF}$ en $C_k = 0{,}1\ \mu\text{F}$.

We vinden dan:

$R' = 9{,}99\ \text{k}\Omega$, $L' = 10^3\ \text{H}$, $C' = 10\ \text{pF}$, $\omega_0 = 10^4\ \text{rad/s}$ en $Q = 10^{-3}$.

De hier gevonden waarde van Q is bijzonder klein, vergeleken met die van normaal gebruikelijke kringen (10 à 100). Verder zien wij hier reeds dat de schakeling van fig. 2 zich gedraagt als een afgestemde kring met een spoel met een zeer grote waarde van L. Door de kleine waarde van C_1 is ω_0 echter niet zeer klein. Maken we C_1 en C_k veel groter, b.v. beide 1 μF, dan vinden we uit (5) t/m (9):

$R' = 9{,}98\ \text{k}\Omega$, $L' = 10^4\ \text{H}$, $C' = 1\ \mu\text{F}$, $\omega_0 = 10\ \text{rad/s}$ en $Q = 9{,}8 \times 10^{-2}$.

De resonantiefrequentie is nu dus inderdaad zeer laag. Q is echter nog steeds zeer klein.

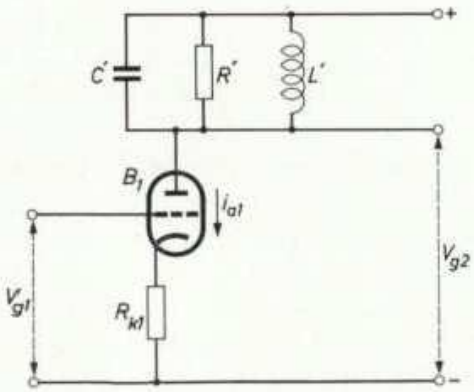

Fig. 3. Vervangschema voor de schakeling van fig. 2. Bij een bepaalde keuze van L', C' en R' is dit schema equivalent met dat van fig. 2. De kwaliteitsfactor van de kring is dan echter zeer klein.

Men kan zich nu afvragen of door een andere keuze van de weerstanden en capaciteiten niet een grotere waarde van Q bereikt zou kunnen worden. Dit blijkt inderdaad het geval te zijn; men kan voor Q maximaal de waarde $\frac{1}{2}$ bereiken, doch volstaat meestal met een wat kleinere waarde omdat als de kwaliteitsfactor de waarde $\frac{1}{2}$ nadert, de signalen steeds minder sterk worden overgebracht.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Om dit laatste aan te tonen, combineren we (5) en (9) tot de volgende vergelijking:

$$Q^2 + \frac{R'^2}{R_1 R_2} = \frac{\dfrac{R_1(C_1+C_k)}{R_2 C_k}}{\left\{\dfrac{R_1(C_1+C_k)}{R_2 C_k} + 1\right\}^2} . \quad . \quad (12)$$

Het rechterlid heeft een absoluut maximum van $\frac{1}{4}$ voor

$$\frac{R_1(C_1 + C_k)}{R_2 C_k} = 1 . \quad . \quad . \quad (13)$$

Bij een zeer kleine waarde van R', of zeer grote waarden van R_1 en/of R_2, zal dus Q tot $\frac{1}{2}$ kunnen naderen. Nu kunnen R_1 en R_2 niet onbeperkt groot worden gekozen in verband met het goed functioneren van de beide buizen waarbij deze weerstanden respectievelijk in anode- en roosterketen zijn opgenomen. Voor een waarde van Q die $\frac{1}{2}$ nadert, zal dus R' klein dienen te zijn, hetgeen betekent dat de signaaloverbrenging door het filter gering wordt.

Daar bovendien een waarde van Q van $\frac{1}{2}$ nog altijd zeer klein is, zou op deze wijze geen filter te construeren zijn dat aan normale uit de praktijk voortkomende selectiviteitseisen voldeed, ware het niet dat door het toepassen van terugkoppeling een aanzienlijke vergroting van de kwaliteitsfactor kan worden verkregen. Dit is analoog met het effect van terugkoppeling bij een oscillator. Ook hierbij wordt de effectieve waarde van de kwaliteitsfactor van een kring door terugkoppeling vergroot tot, bij een oneindig grote Q, oscilleren optreedt.

Schakeling met terugkoppeling

Terugkoppeling kan worden verkregen door aan de ingangszijde van het filter een stroom toe te voeren die evenredig is met de uitgangsspanning. Een schakeling waarmede dit tot stand kan worden gebracht, is in *fig. 4* getekend. De uitgangsspanning wordt hier verkregen door de spanning V_{g2} te leggen aan het rooster van een als katodevolger geschakelde buis B_2. De terugkoppeling ontstaat door de tussen de katodes geschakelde weerstand R_t. Een inzicht in de werking van deze schakeling kan men op eenvoudige wijze verkrijgen door te veronderstellen dat de beide buizen als ideale katodevolgers werken. (Om dit bij benadering te realiseren, moeten de weerstanden R_{k1} en R_{k2} zeer groot zijn, evenals de versterkingsfactoren van de buizen.) In dit geval staan op de katodes wisselspanningen V_{k1} en V_{k2} die gelijk zijn aan de respectievelijke roosterwisselspanningen V_{g1} en V_{g2}. Berekent men nu V_{g2} $(= V_{k2})$ als functie van V_{g1} $(= V_{k1})$, dan vindt men:

$$V_{g2} = -V_{g1} \frac{R_t + R_{k1}}{R_{k1}(R_t - R')} \frac{R'}{1 + j\beta \dfrac{R_t}{R_t - R'} Q} . \quad . \quad . \quad (14)$$

De anodestroom van B_1 is gelijk aan de som van de stromen in R_{k1} en R_t, dus:

$$i_{a1} = \frac{V_{k1}}{R_{k1}} + \frac{V_{k1} - V_{k2}}{R_t} .$$

Met behulp van (10) schrijven we hiervoor:

$$V_{g2} = \frac{-R'}{1 + j\beta Q} \left(\frac{V_{k1}}{R_{k1}} + \frac{V_{k1} - V_{k2}}{R_t} \right) ,$$

waaruit na enige herleiding (14) volgt.

Aangezien de situatie geheel analoog is met die in fig.2, waarbij nu echter verg. (14) geldt in plaats van verg. (11), zien we dat de eigenschappen van de schakeling weer overeenkomen met die van een afgestemde kring, maar nu met een kwaliteitsfactor

$$Q' = \frac{R_t}{R_t - R'} Q .$$

Door het aanbrengen van de terugkoppeling wordt dus de kwaliteitsfactor met een factor $R_t/(R_t - R')$ vergroot. Door deze factor tot 100 of meer op te voeren, krijgt men waarden van Q' die vergelijkbaar worden met die van bij hogere frequenties gebruikelijke afgestemde kringen.

De resonantiefrequentie verandert door het aanbrengen van de terugkoppeling niet; wel wordt de zelfinductie L' met een factor $(R_t + R_{k1})/R_t$ vergroot en de capaciteit C' met dezelfde factor verkleind. In plaats van de weerstand R' uit (11) komt in (14) de weerstand $R'(R_t+R_{k1})/(R_t-R')$ voor. De signaaloverbrenging wordt dus door het aanbrengen van terugkoppeling met een factor $(R_t + R_{k1})/(R_t - R')$ vergroot.

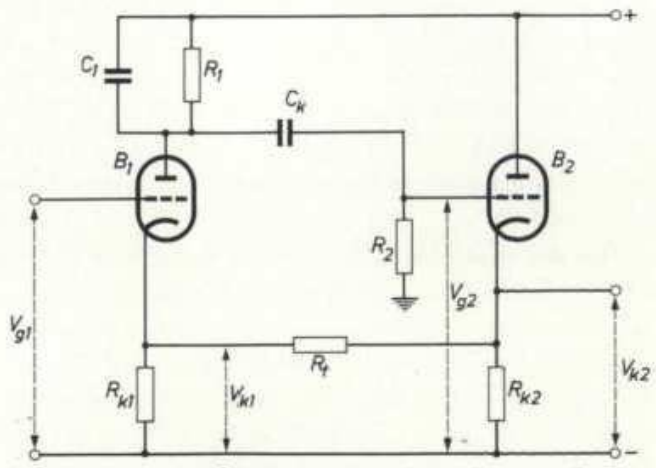

Fig. 4. Ter vergroting van de kwaliteitsfactor kan terugkoppeling worden aangebracht. In het hier weergegeven schema is dit geschied door het aanbrengen van de als katodevolger geschakelde buis B_2 en van de weerstand R_t tussen de katodes van de beide buizen.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Dimensionering van de schakeling; stabiliteit

Het vaststellen van de optimale dimensionering van een filter bij gegeven condities is meestal een ingewikkeld probleem door het grote aantal variabelen dat hierbij is betrokken. Bovendien spelen bij de keuze van de weerstands- en capaciteitswaarden enkele praktische overwegingen een rol, waardoor men hierbij niet geheel vrij is.

Wij hebben gezien dat de voor een goede selectiviteit gewenste grote waarde van Q door terugkoppeling kan worden bereikt. Hierbij is men echter aan bepaalde grenzen gebonden door het feit dat van een filter steeds een bepaalde *stabiliteit* wordt geëist, waaronder wij hier verstaan een zekere mate van constantheid van de eigenschappen bij variaties die kunnen optreden in de gebruikte onderdelen. In dit opzicht zijn de grootste gevaren aanwezig bij de buizen. Indien een zeer stabiele schakeling wordt verlangd, wordt hierdoor een grens gesteld aan de mate waarin terugkoppeling kan worden toegepast.

Om dit in te zien, dient men te bedenken dat de voor fig. 4 geldende vergelijking (14) slechts een benadering voorstelt, in dier voege dat geen rekening is gehouden met het feit dat een katodevolger een inwendige weerstand heeft, die ten naastebij gelijk gesteld kan worden aan de reciproke waarde van de steilheid van de desbetreffende buis. Houdt men hiermede rekening, dan blijkt dat men in plaats van de in de schakeling aangebrachte weerstand R_t, die tussen de katodes van twee buizen is geschakeld, in de formules een weerstand $R_t' = R_t + 1/S_1 + 1/S_2$ dient te introduceren, waarbij S_1 en S_2 de steilheden van resp. B_1 en B_2 zijn. Nu is voor een stabiele schakeling met een sterke terugkoppeling een zeer constante waarde van R_t' van veel belang. Om nl. de factor $R_t'/(R_t' - R')$, waarmede de kwaliteitsfactor wordt vermenigvuldigd, groot te maken, is het nodig dat R_t' slechts weinig van R' verschilt. Een kleine procentuele verandering in R_t' heeft daardoor een grote invloed op de bovengenoemde factor, dus ook op de uiteindelijk verkregen kwaliteitsfactor. Kleine variaties in de steilheid van de buizen kunnen dus grote variaties in de kwaliteitsfactor van het filter veroorzaken.

Om dit effect klein te houden moet voor R_t een zeer stabiele weerstand worden gebruikt, die groot is ten opzichte van $1/S_1 + 1/S_2$. Dit betekent dat de schakeling zodanig moet worden uitgevoerd dat ook R' groot is, wat volgens (5) slechts verkregen kan worden door grote waarden van R_1 en R_2 te gebruiken. Wij wezen er reeds op dat deze weerstanden niet onbeperkt groot kunnen worden gemaakt, en in feite betekent dit dus een beperking voor de mate van terugkoppeling die kan worden toegepast wanneer hoge stabiliteitseisen worden gesteld. In de meeste gevallen zal men daarom een schakeling zodanig ontwerpen dat reeds zonder terugkoppeling de kwaliteitsfactor zo groot mogelijk is, d.w.z. zo dicht bij $\frac{1}{2}$ ligt als met het oog op een redelijke signaaloverbrenging toelaatbaar is. Kiest men R_1, R_2, C_1 en C_k zodanig dat voldaan is aan (13), dan is volgens (9) en (5):

$$Q = \tfrac{1}{2}\sqrt{\frac{C_1}{C_1 + C_k}} \quad \text{en} \quad R' = \tfrac{1}{2}R_1 .$$

Maakt men nu b.v. $C_k = \frac{1}{4}C_1$ (om aan (13) te voldoen moet dan $R_2 = 5R_1$ zijn), dan is $Q = 1/\sqrt{5} \approx 0{,}45$. Daar de maximale waarde van R' gelijk is aan R_1 — nl. als R_2C_k groot is ten opzichte van $R_1(C_1+C_k)$ — is bij $C_k = \frac{1}{4}C_1$ en $R_2 = 5R_1$ de signaaloverbrenging nog 50% van die, welke bij gegeven waarde van R_1 maximaal bereikbaar is. Men kan dit als een redelijk compromis beschouwen.

In sommige gevallen zal men voor een goede stabiele filterwerking de weerstanden R_1 en R_2 groter moeten maken dan met het oog op de buizen toelaatbaar is. Wanneer de desbetreffende eisen niet te sterk uiteenlopen, kan men soms aan beide voldoen door de anode van B_1 en/of het rooster van B_2 op aftakkingen van resp. R_1 en R_2 aan te sluiten (zie *fig. 5*). Zoals men gemakkelijk inziet, wordt de filterwerking nu bepaald door de totale waarden van R_1 en R_2, terwijl in de anodeketen van B_1 en de roosterketen van B_2 slechts gedeelten van deze weerstanden zijn opgenomen.

Wij willen nog op een tweetal andere beperkingen in de grootte van de weerstanden wijzen, en wel allereerst op het feit dat weerstanden met grote stabiliteit (metaalfilmweerstanden) in zeer grote waarden moeilijk zijn te vervaardigen. Verder dient men er rekening mede te houden dat zich parallel met R_2 de

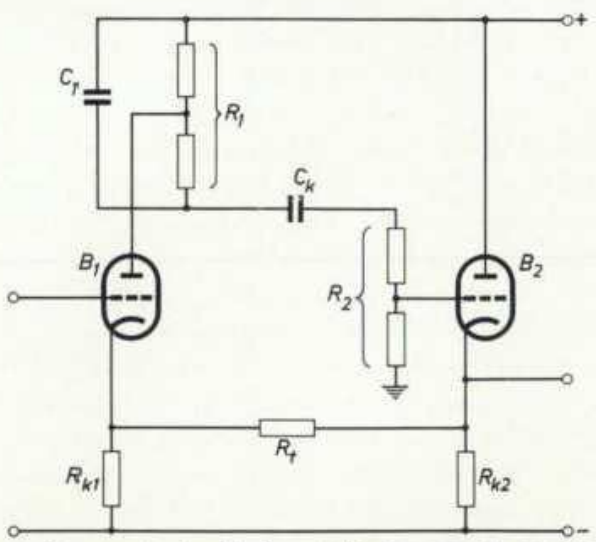

Fig. 5. De weerstanden in de anodeketen van B_1 en in de roosterketen van B_2 dienen soms kleiner te zijn dan de weerstanden R_1 en R_2 die de filterwerking bepalen. Het kan dan aanbeveling verdienen om de anode van B_1 en het rooster van B_2 aan te sluiten op aftakkingen van R_1 en R_2.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

ingangscapaciteit van de buis B_2 bevindt. Wanneer R_2 groot of de frequentie waarvoor het desbetreffende filter wordt ontworpen niet zeer laag is (b.v. enkele honderden hertz), bestaat de mogelijkheid dat de impedantie van de ingangscapaciteit van B_2 niet mag worden verwaarloosd, en daar een dergelijke capaciteit altijd een weinig stabiele grootheid is, kan hierdoor een ontoelaatbare instabiliteit van het filter worden veroorzaakt. Het hier bedoelde effect wordt groter naarmate R_2 groter is, en ook hierdoor kan een grens worden voorgeschreven voor de toelaatbare waarde van R_2. Een andere mogelijkheid om de invloed van de instabiele ingangscapaciteit van B_2 te verminderen, bestaat hierin dat men parallel met R_2 nog een voldoend grote en stabiele condensator aanbrengt.

In dit geval wordt het eigenlijke filter gevormd door twee weerstanden en drie condensatoren (*fig. 6*). Stelt men hiervoor de vergelijking op die het verband tussen V_{g2} en i_{a1} aangeeft, dan blijkt dat men ook voor deze schakeling een vervangschema kan tekenen zoals in fig. 3 is geschetst. Hoewel wij hierop niet verder zullen ingaan, willen wij toch de formules vermelden die dan in de plaats komen van (5) t/m (9). Deze luiden:

$$R' = \frac{R_1 R_2 C_k}{R_1(C_1 + C_k) + R_2(C_2 + C_k)}, \quad \ldots \quad (5')$$

$$L' = R_1 R_2 C_k, \quad \ldots \quad (6')$$

$$C' = \frac{1}{C_k}(C_1 C_2 + C_1 C_k + C_2 C_k), \quad \ldots \quad (7')$$

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{R_1 R_2 (C_1 C_2 + C_1 C_k + C_2 C_k)}}, \quad \ldots \quad (8')$$

$$Q = \frac{\sqrt{R_1 R_2 (C_1 C_2 + C_1 C_k + C_2 C_k)}}{R_1(C_1 + C_k) + R_2(C_2 + C_k)}. \quad \ldots \quad (9')$$

Ook in dit geval is, zoals uit deze vergelijkingen is af te leiden, de maximale waarde van Q gelijk aan $\frac{1}{2}$. In dit opzicht maakt het aanbrengen van C_2 dus geen verschil.

Schakelingen met grote stabiliteit

Wanneer een filter wordt ontworpen volgens de hierboven beschreven richtlijnen, zal, zoals hierboven is besproken, de voornaamste belemmering voor het verkrijgen van een grote stabiliteit gelegen zijn in de variaties die kunnen optreden in de steilheid van de buizen. In dit opzicht kunnen belangrijke verbeteringen worden verkregen door het toepassen van schakelingen waarbij de terugkoppeling op een andere wijze tot stand wordt gebracht. Zo kan reeds een grote verbetering worden verkregen wanneer men voor de terugkoppeling een afzonderlijke buis gebruikt. In *fig. 7* is een schema weergegeven waarin dit principe is toegepast. De buizen B_1 en B_2 hebben hier dezelfde functies als in fig. 4. In de anodeketen van B_2 is nu een weerstand R_{a2} opgenomen. De anodewisselspanning van de laatstgenoemde buis wordt aan het rooster van de buis B_3 gelegd, waarvan de anode verbonden is met de anode van

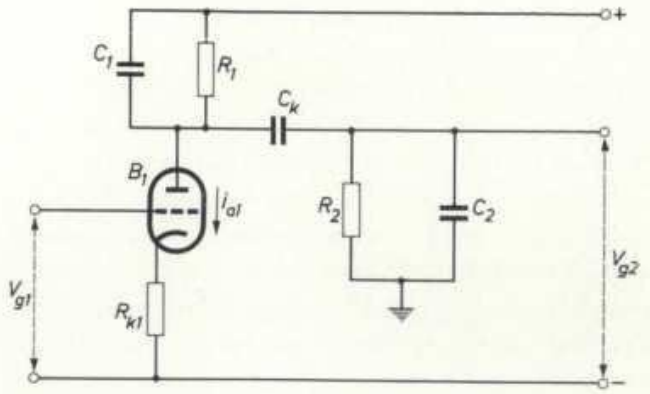

Fig. 6. Wanneer de frequentie van de signalen niet zeer laag en/of de weerstand R_2 zeer groot is, kan het noodzakelijk zijn rekening te houden met de capaciteit C_2.

B_1. (Op de gelijkspanningsinstelling van de buizen gaan wij niet in.) Wanneer de weerstanden R_{k2} en R_{k3} zeer groot zijn ten opzichte van de reciproke waarde van de steilheid van de desbetreffende buizen, is de anodewisselstroom van B_3:

$$i_{a3} = -V_{g2}\frac{R_{a2}}{R_{k2}\,R_{k3}}.$$

Deze stroom wordt, te zamen met de anodewisselstroom van B_1, aan de ingang van het eigenlijke filter toegevoerd. De mate van terugkoppeling wordt hier dus weer in eerste instantie bepaald door een aantal weerstanden, nl. R_{a2}, R_{k2} en R_{k3}. Naarmate de reciproke waarden van de steilheden van B_2 en B_3 kleiner zijn ten opzichte van resp. R_{k2} en R_{k3}, is aan deze benadering met een grotere mate van nauwkeurigheid voldaan, en daar de laatstgenoemde weerstanden zonder bezwaar groter kunnen worden gemaakt dan de weerstand R_t in fig. 4, kan de invloed van variaties van de steilheid van de buizen op de sterkte van de terugkoppeling in het schema van fig. 7 gemakkelijk kleiner worden gemaakt dan in

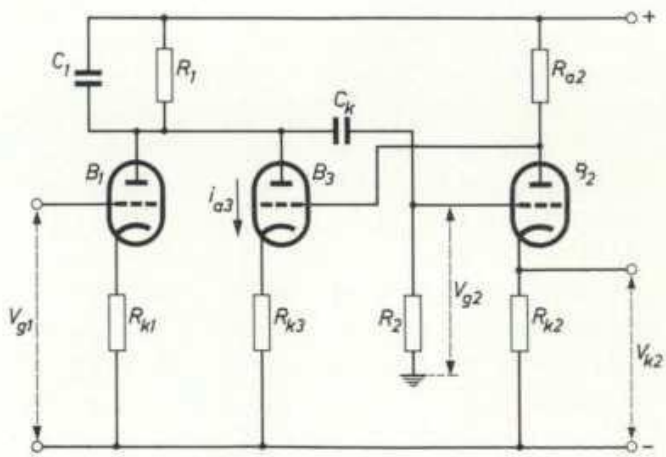

Fig. 7. Door het gebruik van een afzonderlijke buis B_3 voor de terugkoppeling kan de stabiliteit van het filter worden vergroot.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

de schakeling volgens fig. 4; de stabiliteit van de kwaliteitsfactor kan in fig. 7 dan ook groter zijn.

Een verder gaande verbetering kan worden verkregen door het aanbrengen van nog een buis, die in *fig. 8* met B_4 is aangegeven. Een inzicht in de werking van deze schakeling verkrijgt men door weer uit te gaan van de veronderstelling dat de buis B_2 als een ideale katodevolger werkt en dat dit eveneens het geval is met B_3. De roosterwisselspanning zowel als de katodewisselspanning van deze laatste buis is dan gelijk aan $-V_{g2}R_{a2}/R_{k2}$. Kiest men nu de weerstanden R_2 en R_3 zodanig dat $R_2{:}R_3 = R_{k2}{:}R_{a2}$, dan zal het punt P geen wisselspanning tegen aarde hebben en dus in de buis B_4 geen anodewisselstroom vloeien. De werking van de schakeling van fig. 8 is dan geheel gelijk aan die van fig. 7. (Het enige verschil is dat zich voor wisselstroom in de katodeleiding van B_3 in fig. 7 de weerstand R_{k3} bevindt en in fig. 8 de parallelschakeling van R_{k3} en R_3.) Een afwijking van deze situatie veroorzaakt een wisselspanning op het punt P. Deze heeft tot gevolg dat in B_4 een wisselstroom ontstaat, die, doordat de anode van deze buis met die van B_2 is verbonden, een corrigerend effect heeft. De spanningen en stromen zullen zich dus steeds zodanig instellen dat op het punt P nagenoeg geen wisselspanning tegen aarde staat, en het is eenvoudig in te zien dat in dit geval de verhouding van de wisselstroom i_{a3} en de wisselspanning V_{g2} uitsluitend bepaald wordt door de weerstanden R_2, R_3 en R_{k3}. Steilheidsvariaties van de buizen hebben door het corrigerende effect van B_4 hierop vrijwel geen invloed, en de terugkoppeling is dientengevolge zeer stabiel, wat een bijzonder stabiele hoge waarde van de kwaliteitsfactor van het filter mogelijk maakt.

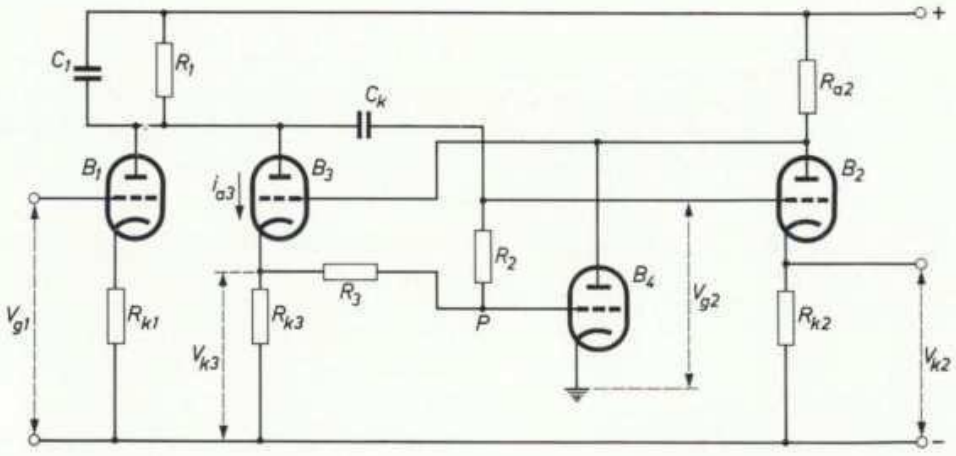

Fig. 8. Een nog grotere stabiliteit kan worden verkregen door het aanbrengen van de buis B_4, waardoor de mate van terugkoppeling minder afhankelijk wordt van variaties in de steilheid van de buizen B_2 en B_3.

Het verkrijgen van een vlakkere frequentiekarakteristiek

Zoals wij hebben aangetoond, komt de frequentiekarakteristiek van een filter volgens de figuren 4 t/m 8 overeen met die van een L-C-kring. In vele gevallen zal men een karakteristiek wensen die een vlakkere top en steilere flanken heeft, zoals men die b.v. kan verkrijgen met behulp van twee of meer, niet met elkaar gekoppelde kringen, waarvan de resonantiefrequenties niet samenvallen (gespreide afstemming, „staggered tuning"). Bij deze methode kan een frequentiekarakteristiek met een bijzonder vlakke en brede top worden verkregen door het gebruik van drie kringen, waarbij de kwaliteitsfactor van één kring de helft is van die van de beide andere en deze beide laatste zijn afgestemd op bepaalde frequenties die hoger en lager liggen dan de resonantiefrequentie van de eerstgenoemde kring. Dit principe kan ook worden toegepast wanneer men in plaats van L-C-kringen actieve filters volgens het hierboven beschreven principe gebruikt, doch de instelling van het geheel is dan, evenals bij passieve kringen, tamelijk bewerkelijk.

Een andere methode om met passieve L-C-kringen een vlakke frequentiekarakteristiek te krijgen, is het aanbrengen van koppeling tussen kringen die alle op dezelfde frequentie zijn afgestemd. Ook dit principe kan bij de hier besproken actieve filters worden toegepast; de „koppeling" wordt dan verkregen door telkens bij een tweetal filters een tegenkoppeling aan te brengen.

Een voorbeeld van een schakeling waarin dit is gerealiseerd, is in *fig. 9* getekend. De beide filters zijn hier met *I* en *II* aangegeven. De tegenkoppeling is tot stand gebracht doordat in de katodeleiding van

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

de eerste buis (B_1) van het eerste filter en van de tweede buis (B_4) van het tweede filter een gemeenschappelijke weerstand R_{kk} is opgenomen [4]).

Voert men enkele vereenvoudigingen in, hieruit bestaande dat men de buizen B_2 en B_4 als ideale katodevolgers beschouwt en dat R_{kk} klein is ten opzichte van R_{k1} en R_{k4}, dan kan men op eenvoudige wijze berekenen dat het verband tussen de uitgangsspanning V_{k4} en de ingangsspanning V_{g1} gegeven is door de volgende formule:

$$V_{k4} = \frac{A V_{g1}}{(1+j\beta Q')^2 + A p}. \quad . \quad . \quad (15)$$

Hierin is A de versterking van de schakeling zonder tegenkoppeling bij de resonantiefrequentie, dus bij $R_{kk} = 0$ en $\beta = 0$, terwijl

$$p = \frac{R_{kk}}{R_{k4}} \frac{R_t}{R_{k1} + R_t}.$$

Deze grootheid is dus een maat voor de sterkte van de tegenkoppeling. Maken we nu b.v. $Ap = 1$, dan gaat (15) over in:

$$V_{k4} = \frac{A V_{g1}}{(1 + j\beta Q')^2 + 1}, \quad . \quad . \quad . \quad (16)$$

terwijl het verband tussen de moduli van V_{k4} en V_{g1} dan is gegeven door:

$$|V_{k4}| = \frac{A}{\sqrt{4 + \beta^4 Q'^4}} |V_{g1}|. \quad . \quad (17)$$

Het verloop van $|V_{k4}|/|V_{g1}|$ als functie van β is in dit geval identiek met hetgeen optreedt bij een bandfilter dat bestaat uit twee kringen met kritische koppeling. De kromme heeft een vlakkere top en steilere flanken dan die welke bij een enkel voudige kring behoort.

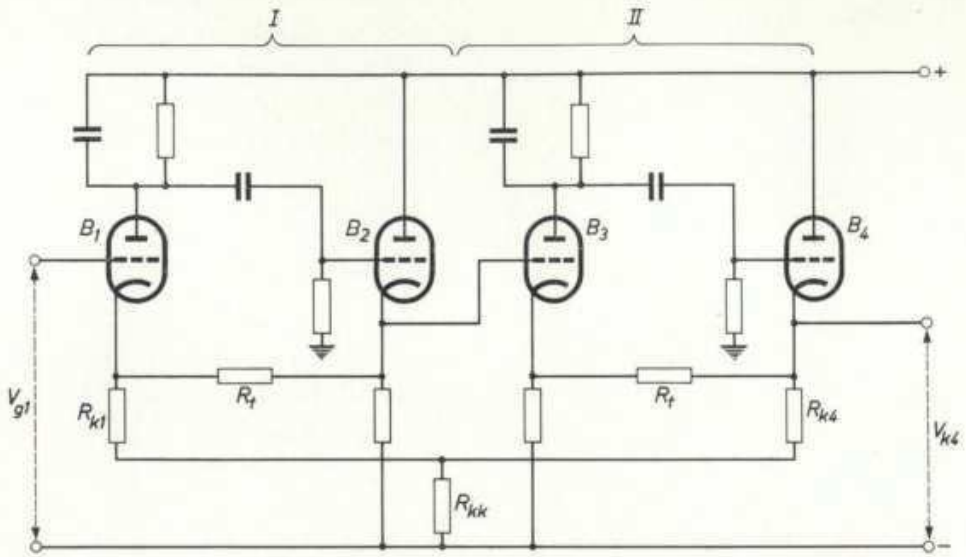

Fig. 9. Combinatie van twee der beschouwde filters, *I* en *II*, met tegenkoppeling, die door de weerstand R_{kk} wordt verkregen. Met deze schakeling kan een frequentiekarakteristiek worden verkregen die overeenkomt met die van twee gekoppelde *L*-*C*-kringen.

Door combinaties van dergelijke filters met verschillende waarden van de „koppelingsgraad" (Ap) kan men voldoen aan zeer uiteenlopende eisen met betrekking tot de frequentiekarakteristiek. Zo kan men b.v. een filter volgens fig. 4 in cascade schakelen met een filter volgens fig. 9, waarbij men door geschikte dimensionering een frequentiekarakteristiek kan verkrijgen, overeenkomende met die van drie *L*-*C*-kringen met gespreide afstemming. Door de conformiteit van de formules kan men het ontwerp van dergelijke configuraties mathematisch geheel behandelen volgens de wegen die worden gevolgd bij het ontwerpen van filters met *L*-*C*-kringen.

De filters *I* en *II* in fig. 9 zijn geschakeld volgens het principe van fig. 4. Het spreekt vanzelf dat men ter verkrijging van een grotere stabiliteit ook de schakelingen van fig. 7 of fig. 8 als „bouwstenen" kan gebruiken.

Laag-doorlatende filters

Filters zoals wij hierboven hebben beschreven, zijn van het banddoorlatende type, d.w.z. dat de doorgelaten frequentieband zowel aan de zijde der lage als aan die der hoge frequenties is begrensd.

[4]) In plaats van de weerstanden R_{k1}, R_{k4} en R_{kk} had men ook een driehoekschakeling van weerstanden kunnen gebruiken. Een bezwaar hiertegen is echter de zeer grote waarde van de terugkoppelweerstand die dan in de meeste gevallen nodig is, welke weerstand moeilijk stabiel is te vervaardigen. In dit opzicht geeft de kleine weerstand R_{kk} geen moeilijkheden.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Voor bepaalde experimenten zijn echter *laag*-doorlatende filters gewenst, die van signalen alle componenten met frequenties beneden een bepaalde grensfrequentie doorlaten. Een dergelijk filter wordt in eerste instantie benaderd door één weerstand en één condensator. (zie *fig.10*). Men kan zich een

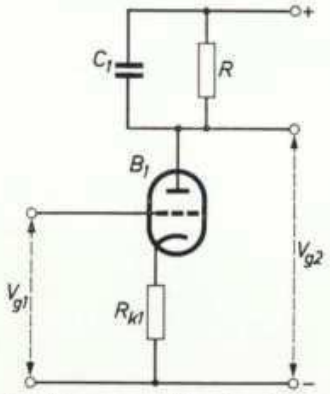

Fig. 10. Voor wisselstromen geldend schema van een laag-doorlatend filter.

dergelijk filter ontstaan denken uit het banddoorlatende type door de capaciteit C_k oneindig groot te maken, dus deze condensator door een kortsluiting te vervangen; de resonantiefrequentie wordt dan nul. (De weerstanden R_1 en R_2 uit fig. 2 zijn nu voor wisselstroom parallelgeschakeld en in fig. 10 vervangen door één weerstand R.)

Brengen we ook hier terugkoppeling aan, op de wijze die in fig. 4 was voorgesteld, dan ontstaat het in *fig. 11* weergegeven schema. Het verband tussen ingangs- en uitgangssignaal is nu als volgt:

$$V_{k2} = V_{g2} = -V_{g1}\frac{R_t + R_{k1}}{R_t - R}\cdot\frac{R}{R_{k1}\left(1+j\omega\dfrac{R_t}{R_t-R}C_1R\right)}. \quad . \; . \; . \quad (18)$$

We zien hieruit dat de invloed van de terugkoppeling op de frequentiekarakteristiek dezelfde is als die van een vergroting van C_1 met een factor

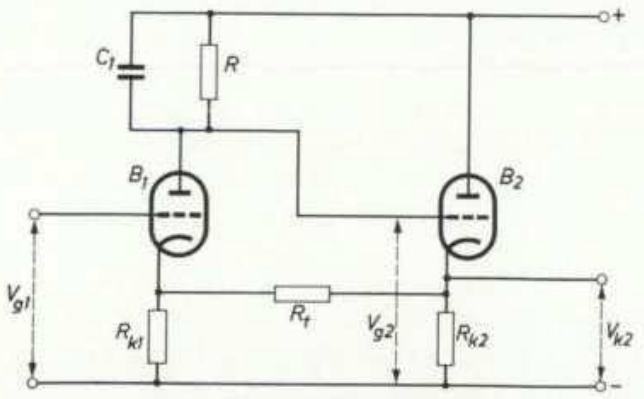

Fig. 11. Laag-doorlatend filter met terugkoppeling. Het effect hiervan op de doorlaatkarakteristiek is hetzelfde als dat van een vergroting van de capaciteit C_1.

$R_t/(R_t-R)$. Om het doorgelaten frequentiegebied tot zeer lage frequenties te beperken, zal het gebruik van een grote waarde voor C_1 een eenvoudiger maatregel zijn dan het aanbrengen van terugkoppeling; men zal dan ook bij een enkelvoudig laag-doorlatend filter zelden tot het toepassen van terugkoppeling overgaan.

Anders is de situatie wanneer men ook hier gebruik maakt van de mogelijkheid om twee trappen in cascade te schakelen en tegenkoppeling toe te passen. In *fig. 12* is een dergelijke schakeling voorgesteld met twee identieke filters, waarbij tegenkoppeling is aangebracht door middel van de weerstand R_{tk} [5]).

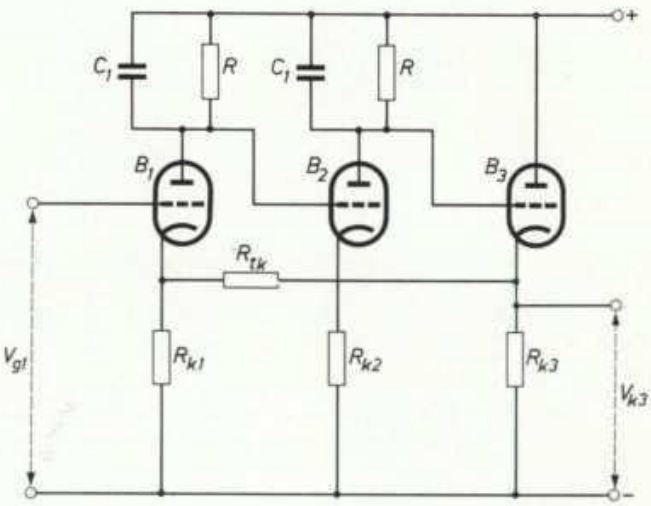

Fig. 12. Laag-doorlatend filter, bestaande uit een cascadeschakeling van twee identieke filters als in fig. 10, waarbij tegenkoppeling is toegepast door middel van de weerstand R_{tk}.

Nemen we weer aan dat de in de katodeleidingen geschakelde weerstanden zeer groot zijn, dan kunnen we voor het verband tussen de uitgangsspanning V_{k3} en de ingangsspanning V_{g1} de volgende uitdrukking afleiden:

$$V_{k3} = \frac{A(1+p)V_{g1}}{(1+j\omega C_1R)^2 + A\,p}. \quad . \; . \quad (19)$$

Hierin is $A = R^2/(R_{k1}R_{k2})$ en $p = R_{k1}/R_{tk}$. Omdat is aangenomen dat de weerstanden R_{k1}, R_{k2} en R_{k3} zeer groot zijn, is A de versterking van de schakeling

[5]) Doordat geen van de beide afzonderlijke filters is voorzien van terugkoppeling, kan deze schakeling met slechts drie buizen worden uitgevoerd, terwijl in fig. 9 vier buizen nodig waren. Verder zij opgemerkt dat, in tegenstelling tot fig. 9, de tegenkoppeling hier is verkregen met een *driehoek*-schakeling van de weerstanden R_{k1}, R_{k3} en R_{tk}. De reden hiervan is dat door het ontbreken van terugkoppeling in de afzonderlijke filters de totale versterking in fig.12 veel kleiner is dan in fig.9. Om voldoende effect van de tegenkoppeling te verkrijgen, zou een eventuele gemeenschappelijke serieweerstand van R_{k1} en R_{k3} dan ook veel groter moeten zijn dan R_{kk} in fig. 9. In dit geval is het aanbrengen van een weerstand tussen de katodes van B_1 en B_3 een betere oplossing omdat een dergelijke weerstand minder invloed heeft op de gelijkstroominstelling van de beide buizen.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

bij de frequentie nul en bij buiten werking gestelde tegenkoppeling (dus bij $R_{tk} = \infty$). Verder is p een maat voor de sterkte van de tegenkoppeling.

Uit (19) volgt dat voor $\omega = 0$ de uitgangsspanning is:

$$V_{k3,0} = \frac{A(1+p)V_{g1}}{1+A\,p}. \quad \ldots \quad (20)$$

In *fig. 13* is de verhouding

$$\frac{|V_{k3}|}{|V_{k3,0}|} = \left| \frac{1+A\,p}{(1+j\omega C_1 R)^2 + A\,p} \right| . \quad . \quad (21)$$

uitgezet als functie van ω voor enkele waarden van $A\,p$. Hierbij is het produkt C_1R voor alle krommen op dezelfde waarde (0,1 s) gehouden. De in deze figuur getekende kromme voor $A\,p = 0$ geldt voor het geval dat er geen tegenkoppeling is aangebracht. Door vergelijking met de andere krommen ziet men dat door de tegenkoppeling een frequentiekarakteristiek met een veel vlakkere top kan worden verkregen. Dergelijke karakteristieken kunnen niet met passieve R-C-netwerken tot stand worden gebracht.

Ook bij laag-doorlatende filters is het mogelijk om uitgebreidere netwerken samen te stellen door combinatie van filters met verschillende waarden van het produkt C_1R. Door een geschikte dimensionering kan men dan krommen verkrijgen met een nog vlakkere top en een steiler verloop van het hellende gedeelte.

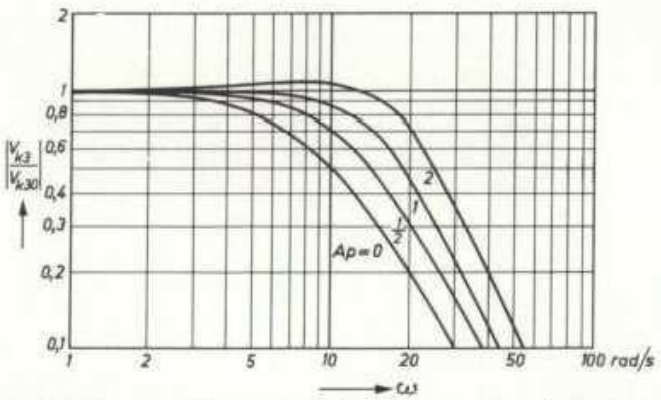

Fig. 13. Frequentiekarakteristieken voor een laag-doorlatend filter volgens fig. 12.

Toepassing als vertragingsnetwerk

De analogie die bestaat tussen L-C-kringen en de hierboven beschreven actieve filters schept de mogelijkheid om de laatstgenoemde schakelingen ook te gebruiken in gevallen waar men signalen met zeer lage frequenties een bepaalde vertraging wil doen ondergaan zonder dat hierbij vervorming optreedt. Dit kan b.v. van nut zijn wanneer men een elektrisch analogon wil construeren van een regelsysteem waarin looptijden optreden. Aan de hand van een dergelijk elektrisch circuit kan men dan de stabiliteitsvoorwaarden nagaan.

Wanneer een netwerk ieder signaal onvervormd, doch met een zekere vertraging moet overbrengen, moet de fazelooptijd onafhankelijk van de frequentie zijn en bijgevolg moet de fazeverschuiving die de verschillende componenten ondergaan, evenredig met hun frequenties zijn. Verder moet de amplitudeverhouding tussen ingang en uitgang onafhankelijk van de frequentie zijn.

Een bekende schakeling die dit in een beperkt fazedraaiingsgebied kan verwezenlijken, is in *fig. 14a* weergegeven. Een minder bekende schakeling, waar-

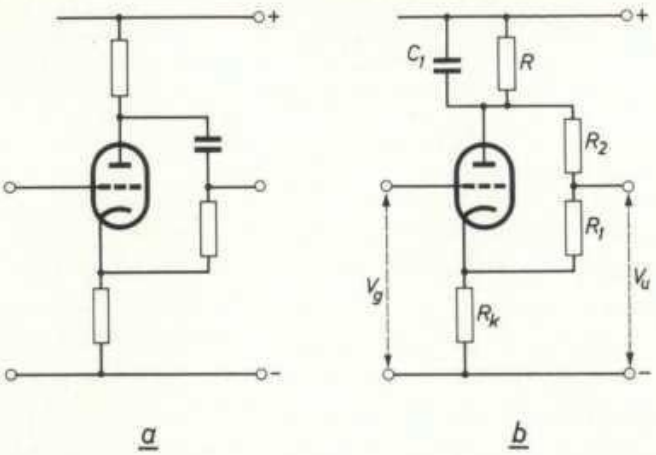

Fig. 14. Schakelingen waarbij de signalen in een beperkt frequentiegebied een constante fazelooptijd hebben, terwijl de amplitudeverhouding van ingangs- en uitgangssignaal constant is.

mede hetzelfde kan worden bereikt, en die in verband met het hierna volgende voordelen biedt, is in fig. 14*b* voorgesteld. Nemen we ter vereenvoudiging aan dat R_1 en R_2 groot zijn ten opzichte van R en R_k, en kiezen we verder de weerstanden zodanig dat voldaan is aan de formule:

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{2R_k}{R}, \quad \ldots \ldots \quad (22)$$

dan wordt het verband tussen V_g en V_u gegeven door:

$$\frac{V_g}{V_u} = \frac{R_1+R_2}{R_2} \cdot \frac{1+j\omega C_1 R}{-1+j\omega C_1 R}. \quad . \quad (23)$$

De modulus van deze uitdrukking is inderdaad onafhankelijk van ω, terwijl het argument bedraagt 2 arc tg $\omega C_1R \pm 180°$. De spanning V_u is dus een hoek 2 arc tg $\omega C_1R \pm 180°$ in faze achter ten opzichte van V_g. We zullen van deze fazeverschuiving verder alleen de van de frequentie afhankelijke term $\varphi = 2$ arc tg ωC_1R beschouwen, daar het constante bedrag $\pm 180°$ kan worden gecompenseerd, b.v. door het gebruik van twee trappen in cascade. In *fig. 15*, kromme *a*, is het verloop van φ als functie van ω aangegeven. Bij kleine waarden van ωC_1R is

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

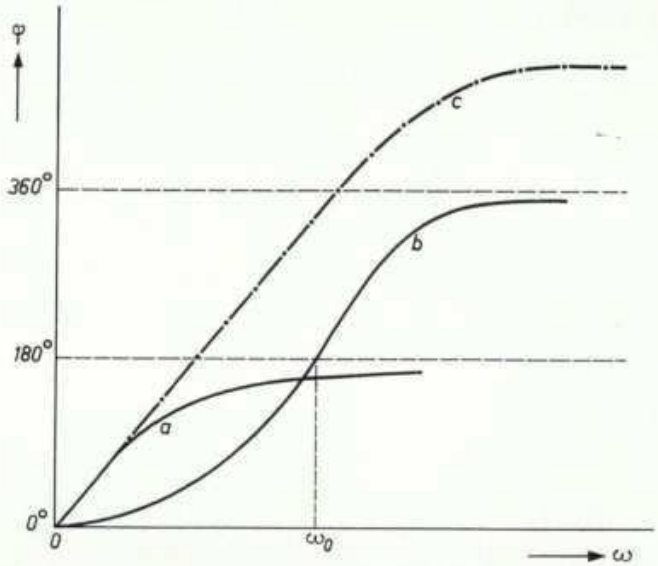

Fig. 15. Fazekarakteristiek *a*) van de schakelingen volgens fig. 14 en *b*) van de schakelingen volgens fig. 16 en 17. Bij gebruik van deze schakelingen in cascade kan bij geschikte dimensionering de fazekarakteristiek *c* worden verkregen.

arc tg $\omega C_1 R \approx \omega C_1 R$ en is dus φ ten naaste bij evenredig met ω. Dit geldt echter slechts tot een beperkte waarde van φ (b.v. 60°). Een uitbreiding van het evenredigheidsgebied kan men verkrijgen door in cascade met een schakeling volgens fig. 14 een of meer elementen te gebruiken waarvan de fazekarakteristieken lineaire gedeelten hebben bij van nul verschillende waarden van de frequentie. Dit wordt b.v. verkregen met een schakeling volgens *fig. 16*, die zich van fig. 14*b* hierdoor onderscheidt dat in de anodeketen van de buis een *L*-*C*-kring is opgenomen in plaats van de combinatie C_1-R. Bij dit schema bestaat tussen V_g en V_u het volgende verband:

$$\frac{V_g}{V_u} = \frac{R_1 + R_2}{R_2} \cdot \frac{1 + j\beta Q}{-1 + j\beta Q} \quad . \quad (24)$$

(Hierin stelt β weer $\omega/\omega_0 - \omega_0/\omega$ voor.) De spanning V_u is nu een hoek 2 arc tg $\beta Q \pm 180°$ in faze

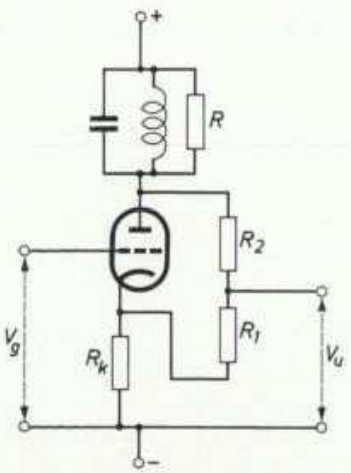

Fig. 16. Schakeling waarmede een fazekarakteristiek kan worden verkregen die een recht gedeelte vertoont in de omgeving van een van nul verschillende waarde van de frequentie.

achter ten opzichte van V_g. In fig.15 is $\varphi = 2$ arc tg $\beta Q + 180°$ als functie van ω weergegeven (kromme *b*). Bij gebruik van schakelingen volgens fig. 14 en fig. 16 in cascade verkrijgt men tussen ingangs- en uitgangsspanning een fazeverschuiving die door optellen van de ordinaten van de krommen *a* en *b* wordt gevonden (kromme *c*). Bij geschikte dimensionering kan men nu een lineair verloop verkrijgen over een veel groter gebied dan alleen met een schakeling volgens fig. 14 mogelijk is.

Het beschreven principe kan ook worden toegepast wanneer men bij zeer lage frequenties niet een *L*-*C*-kring gebruikt, doch een filter volgens fig. 4. De spanningsdeler tussen ingangs- en uitgangsspanning kan dan worden gerealiseerd door in plaats van terugkoppelweerstand R_t twee weerstanden R_{t1} en R_{t2} aan te brengen, waardoor de schakeling van *fig. 17* wordt verkregen. De verhouding van deze weerstanden moet nu voldoen aan de betrekking:

$$\frac{R_{t1}}{R_{t2}} = \frac{2R_{k1}}{R'} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (25)$$

waarin R' door (5) is gegeven. Ook door een cascadeschakeling van fig. 14 en fig. 17 kan men dus een fazekarakteristiek verkrijgen van de vorm die in fig. 16, kromme *c*, is geschetst.

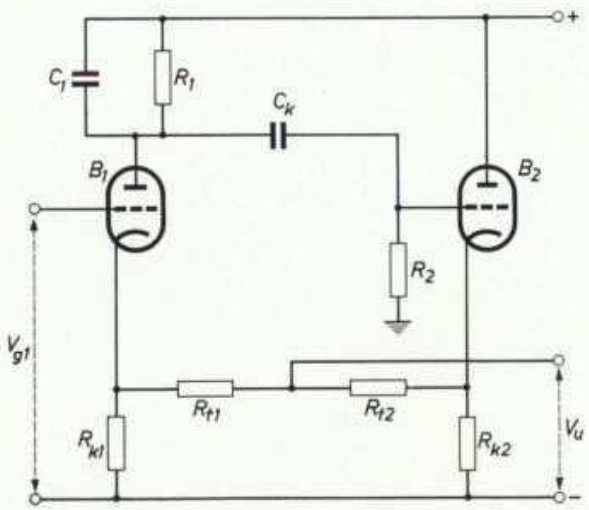

Fig. 17. Schakeling die bij lage frequenties door geschikte dimensionering identiek kan worden gemaakt met een schakeling volgens fig. 16.

Het „evenredigheidsgebied" kan nog verder worden uitgebreid door aan de schakeling nog één of meer filters volgens fig. 17 met verschillende resonantiefrequenties toe te voegen. Door een juiste keuze van deze resonantiefrequenties en van de kwaliteitsfactoren kan een fazekarakteristiek worden verkregen die vanaf de frequentie nul in een groot frequentiegebied vrijwel recht is, waardoor signalen die alleen in dit gebied liggende componenten be-

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

vatten, een constante looptijd hebben en hierdoor een bepaalde vertraging ondergaan zonder dat vervorming optreedt. De kwaliteitsfactoren van de verschillende in cascade geschakelde filters moeten hierbij nagenoeg evenredig zijn met de resonantiefrequenties. Hierdoor wordt voor sommige van deze filters een vrij hoge waarde van de kwaliteitsfactor vereist, welke binnen zekere grenzen door middel van de terugkoppeling kan worden verkregen.

Slotbeschouwingen

In het bovenstaande hebben wij gewezen op de analogie die er bestaat tussen bepaalde filters die uit weerstanden en condensatoren zijn samengesteld, en filters waarin een of meer *L-C*-kringen zijn toegepast. Wij willen nog wijzen op een *verschil* tussen deze beide schakelingen dat bij praktische toepassing van belang kan zijn, nl. op het feit dat de terugkoppeling zoals die is toegepast om tot een redelijke waarde van de kwaliteitsfactor te komen, een verhoging van het *ruisniveau* veroorzaakt. Hierdoor kan men filters volgens het in dit artikel beschreven principe alleen gebruiken bij een voldoend hoog signaalniveau, hoger dan dat waarbij men filters met *L-C*-kringen kan gebruiken.

Tot slot zij nog vermeld dat schakelingen volgens de hier beschreven principes ook met transistors uitvoerbaar zijn. Doordat hierbij echter de ingangsweerstand veel kleiner is dan bij buizen, is men minder vrij in de keuze van de toegepaste schakelelementen.

Samenvatting. Bepaalde actieve schakelingen, die zijn opgebouwd uit versterkbuizen, weerstanden en condensatoren, hebben eigenschappen die overeenkomen met die van passieve kringen welke spoelen bevatten. Daar bij zeer lage frequenties aan het gebruik van spoelen bezwaren zijn verbonden, kunnen zulke actieve schakelingen hier met voordeel worden toegepast. Besproken wordt het realiseren van banddoorlatende en van laag-doorlatende filters, waarbij ter verkrijging van een redelijke waarde van de kwaliteitsfactor terugkoppeling wordt toegepast. Verder worden enkele schakelingen behandeld waarmede een bijzonder grote stabiliteit van deze filters kan worden verkregen.

Door het in cascade schakelen van twee filters en het gebruik van tegenkoppeling kan een frequentiekarakteristiek worden verkregen die met die van twee gekoppelde *L-C*-kringen overeenkomt. Tot slot wordt gewezen op de mogelijkheid om op deze wijze netwerken te verkrijgen waarvan in een bepaald frequentiegebied de amplitudekarakteristiek vlak en de fazekarakteristiek nagenoeg recht is, waardoor signalen die uitsluitend componenten in dit frequentiegebied bevatten, deze netwerken kunnen doorlopen met een zekere vertraging zonder dat hierbij vervorming optreedt.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

REGISTER VAN ONDERWERPEN, JAARGANGEN 16-25

Het bij elk onderwerp vermelde vet gedrukte getal geeft de jaargang aan, het daarop volgende getal de bladzijde. Voor onderwerpen behandeld in de jaargangen **1-15** raadplege men de respectieve 10-jaren-registers opgenomen aan het eind van de jaargangen **10**, **15** en **20**.

Absorptiewig, cirkelvormige optische **22**,418
Acariciden, zie „Tedion V18"
Afgeschermde ruimte voor microgolfmetingen **23**,189
Afstandsbediening: speelgoed met draadloze bekrachtiging **24**, 66
Afstemindicator (E 82 M) **18**,215

Agrobiologisch onderzoek:
laboratorium voor — **16**,353
bestrijding dierlijke plagen . **17**,120
fungiciden **17**,238
groeistoffen in planten . . . **17**,266
formuleren van pesticiden . . **19**,170
„Tedion V18", proeven met radio-isotoop **21**,242
biologisch evenwicht **23**,105
Akoestiek, zie **Geluid**
Alkalihalogenides, roosterfouten bestudeerd aan — **20**, 51
Ambiofonie, zie **Geluid,** moderne —techniek
Ampliscoop (harmonisering röntgenbeelden) **24**,269

Analogon-rekenmachines:
voor berekening kleurpunt lichtbron **23**, 89
schrijven van elektronenbanen met weerstandsnetwerk en — **23**,368

Analyse:
gas—, zie **Omegatron**
spectrochemische — met röntgenstralen **17**,361

Antennes:
voor radar (lens van Luneburg) **22**, 37
zie verder **Radio-ontvangtoestellen**

Arbeidsfysiologie:
meting hartfrequentie . . . **21**,297
maat voor perceptieve arbeid **24**,362
Armaturen, temperaturen in — voor gloeilampen **21**,292

Autokoplichten:
met asymmetrische dimbundel **17**,132
met jodiumlampen **23**,222

Automatisering:
van spiraalwikkelmachine . . **21**,302
automatische digitale gloeilampenfotometer **23**,254
zie verdere **Mechanisatie** en **Numerieke besturing**
Autoradio **24**, 29

Bakens:
microgolf— met multireflexieklystron **24**,178
vliegveldbebakening . . . **16**,298 / **17**, 20
Ballonblaasmachines **22**,333
Barium-getterspiegels **19**,308
Bariumtitanaat voor condensatoren **17**,111
Beeldbuizen, zie **Televisiebeeldbuizen**
Beeldiconoscoop **17**,173

Beeldversterker:
röntgen—, zie **Röntgenbeeldversterker** . . . . . .
met elektroluminescentie . . **18**,357
met elektrostatische „Zoom"-optiek **25**,254
Biologisch evenwicht (intreerede Van der Veen) **23**,105
Bioscoopprojector, zie **Filmprojectie**
Bitter-patronen voor onderzoek van omkeerproces magnetisatie **24**,240
Blikseminslag in vliegtuigen . . . **17**, 94
Booglassen, zie **Lassen**
Boucherot-schakeling voor serievoeding van lampen **17**, 20
Breuk van staal door waterstof **24**,251
Buigproeven, toestel voor —. . . **17**,271
Bundelextractie, zie **Cyclotron**
Bundellichten, automatische registratie van isocandelakrommen . . . . . **20**,320 / **23**,262

Cadmiumsulfide:
fotoweerstanden van — . . **20**,285
etsputten op — **22**,278
Cardiografie, vector-elektro— . . **21**, 25
Cascadegenerator, zie **Hoogspanningsgenerator**
Chladni-figuren op trilcondensator **19**, 92
Cinemaprojectie, zie **Filmprojectie**
CO_2-lassen **24**, 20
Complexe spanningsverhouding bij variërende frequentie, oscillografisch opnemen **19**, 11

Condensatoren:
materialen met grote ε . . . **17**,111
levensduur in voorschakelapparaten **20**,114
precisiedraai— **20**,227
Constante lichtbron, eenvoudige schakeling **21**,246

Cyclotron:
600-MeV-synchro— CERN:
ontwerp **22**,150
hoogfreq.-installatie . . **22**,157
stemvork-modulator . . **22**,170
Chladni-figuren op trilcondensator **19**, 92
160-MeV-synchro— met bundelextractie te Orsay . . . **23**,397
onderzoek magneetveld van isochroon — **24**,106

Damp, verhitten in — bij regelbare druk en temperatuur . . . **24**,238
Dauwpuntsbepaling, apparaat met Peltier-koeling **21**,211
Deeltjesanalysator **21**,345
Deltamodulatie **25**,174
Deltawerken, onderzoek zandtransport **21**,161

Diamant:
trekstenen **16**, 87
grammofoonnaalden, fabricage **19**,320
richten van — voor gereedschap **21**,156
Diëlektrische constante, materialen met grote — **17**,111
Diffusieonderzoek met radio-isotopen, slijpmachientje **25**,103

Dislocaties:
ontstaan door thermische spanningen **19**,375
Ge-kristallen zonder — . . . **21**,336
invloed in metalen, halfgeleiders en ionenkristallen . . . **22**,406
projectietopogrammen van— **23**,192
Donders, F. C., onderzoek reactietijden door — **24**,383
DONDERS, elektronisch meetsysteem voor menselijke reacties **24**,372
Doofstommen, muziekinstrument voor — **18**,206

Dosimetrie:
zakdosismeter voor röntgen- en gammastraling **16**,134
van zeer zwakke röntgenstraling **19**,280
dosismeters voor therapie en diagnostiek **23**, 47

Doteren:
bereidingsmethodes Ge en Si **21**,189
inhomogeniteiten in Ge en Si **25**,107
zie verder **Vastestofonderzoek**

Draad:
soldeerbaarheid **20**,109
fabricage en onderzoek van lak— **23**,358
orthocyclisch wikkelen . . . **23**,381
„Thermoplac" — **23**,387
Draadloos bekrachtigd speelgoed **24**, 66
Draaggolftelefonie, tegengekoppelde versterkers voor — . . . **16**,175
Draaibankkop, precisie— **19**, 48
Draaicondensatoren, precisie— . **20**,227
„Duvadilan" (vaatverwijdend middel) **24**, 73

Eenzijbandmodulatie **25**,317
Elektreet met fotogeleider . . . **23**,329
Elektroluminescentie. **18**,357

Elektrolytische trog:
onderzoek warmtegeleiding . **18**, 11
schrijven van elektronenbanen **22**,257
Elektrometer, trilplaatcondensator voor — **25**, 77

Elektronenbanen:
focussering in röntgenbuizen **20**,248
schrijven van — met elektrolytische trog **22**,257
schrijven van — met weerstandsnetwerk en analogonrekenmachine **23**,368

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

berekening van — met digitale rekenmachine 24,130

Elektronenbuizen:
microfonie van — 22, 80
koudekatodebuizen Z 800 U, Z 801 U 18,237
zie verder:
Katodestraalbuizen
Televisiebeeldbuizen
Televisie-opneembuizen
Thyratrons
Versterkbuizen
Zendbuizen
Elektronenemissie, secundaire, in televisie-opneembuizen 17,173
Elektronenkanon voor beeldbuizen 18, 73

Elektronenmicroscoop:
vereenvoudigde constructie (EM 75 kV) 17, 42
emissie—:
demonstratie austeniet-perlietovergang . . . 17,147
constructie 18, 1
ultramicrotoom voor opnamen met — 17,183
onderzoek van SiC-whiskers 24,175
opnamen met — (platen):
ferroxdure 18,209
„Ticonal" 19, 76; 25,201
buigingseffect bij — . . 25, 55
Elektronentechniek in de houtindustrie 23,169
„Elektronisch Gedicht" (Expo Brussel 1958) 20,161
Elektronische muziek, zie **Muziek**
Elektronische spelen 18, 62
Elektroscoop 16,134

Entropie:
begrip 16,202
voorbeelden en toepassingen 16,278; 16,336
— en informatie 18,170

Etsputten:
dislocatieonderzoek met — 21,339
op CdS 22,278
op ZnS 24, 68
Experimenten, opzet van series (intreerede Hamaker) 22,113

Expo Brussel 1958:
Philipspaviljoen 20,126; 20,133; 20,141; 20,151
„Elektronisch Gedicht" . . 20,161

Faraday-effect:
toepassing voor niet-reciproke golfgeleider 18,126
zichtbaarmaken gebieden van Weiss 19,371
Faraday-kooi 23,189
Fazefouten, hoorbaarheid van —. 25, 74
Felsen, verbeterde methode . . . 19,213

Ferrieten:
ferroxcube, zie aldaar
ferroxdure, zie aldaar
ferroxplana, zie aldaar
gyromagnetische resonantie 18, 56; 18,126; 19,329
Ferroceptor 16,155
Ferro-elektriciteit, toepassing voor condensatoren 17,111

Ferroxcube:
met rechthoekige hysteresislus:
theorie en eigenschappen 16,124
schakeltijden 18,341
toepassing voor magneetringgeheugens . . 20,180
omkeerproces magnetisatie 24,240
diverse toepassingen:
inductieve antenne. . . 16,155
inductieve antenne voor FM 24,324
amplitudemodulatie em-golven 18, 56
niet-reciproke golfgeleiders 18,126
piëzomagnetische trillers 18,285
impulstransformator . . 18,377
magneetringgeheugens . 20,180

Ferroxdure:
gericht — (ferroxdure II en III). 16,189
elektronenmicrofoto 18,209
vergelijking met andere materialen 19, 23
richten door topotaxie . . . 20,367
toepassingen:
magnetodynam. groeftaster 18,113
impulstransformator . . 18,377
luidsprekermagneten . . 24,144

Ferroxplana:
ontwikkeling en eigenschappen 18,253
gericht — 19,217
richten door topotaxie . . . 20,367

Filmprojectie:
professionele 16-mm-projector 16, 17
projector voor 70-mm- en 35-mm-film („Todd-A.O.") 17,353
spiegelcondensorlamp voor 8-mm— 19,240
met flitsende lichtbron (FP 20 S met SPP 800 W) . 21,121
projector van vereenvoudigde constructie (FP 20) . . . 21,131
Filters, actieve (zonder spoelen), voor lage frequenties 25,376
Fizeau-lijnen, snijdende, bij interferentiespiegel 23,396

Flitslampen:
gasontladings— (elektronische —):
constructie 16,163
voor fotografie van oog 16, 46
recente ontwikkelingen . 22,389
„Photoflux":
met vereenvoudigde voet 16,227
ontsteking met condensator 16,349
Fluctuaties, zie **Ruis**

Fluorescentielampen:
met gericht licht („TL" F) 17,215
zonder starter („TL" M) . 17,260; 18, 35
met goede kleurweergave („TL" de luxe) 18,221
met grote lichtstroom . . . 20, 1
met verhoogd rendement . . 25, 86
radiostoringen door — . . . 20, 84
voeding van — in verkeersmiddelen:
met gelijkstr. („TL" C) 18, 28
met centrifugaalomzetter 18, 31
met transistoromzetter 20,347
met omzetter met bestuurbare Si-gelijkrichters 23,255
voorschakelapparaten, zie aldaar
zie ook **Verlichting**
Fluorescentiescherm voor kleurentelevisie, experimenteel . . . 23,133
Fonetisch onderzoek 24,348

Fotogeleiding:
grondslagen (begrippen; contacten op halfgeleiders) . . 25,262
fotoweerstanden van CdS . . 20,285
fotoweerstanden van InSb . 22,357
opto-elektronica (intreerede Diemer) 23,277
gelijkrichtende laag voor leesmatrix 23,329
TV-opneembuis met loodoxydelaag 16, 43
TV-opneembuis „Plumbicon" 24, 64; 25,277

Fotografie:
flitslampen, zie aldaar
van het oog 16, 46
Fotometer, automatische digitale, voor gloeilampen 23,254

Fotomultiplicatoren:
constructie en problemen . . 16,270
stroboscopisch gebruik van — 19,203
gebruik voor lichtstipaftasting (50 AVP) 21,254
voor Scintillatietellers, zie aldaar

Fotoweerstanden:
van CdS 20,285
van InSb 22,357
toepassing voor constante lichtbron 21,246
Foucault-slinger voor Verenigde Naties 19,243
Freesbank, zie **Numerieke besturing**
„Frena" en „Frenac" 19, 65

Frequentiemodulatie:
FM-ontvangst met sterke storingen 22,219
FM-ontvangst langs verschillende wegen 22,374
straalzender met dubbele — 17,281; 17,392
zie verder **Radio-ontvangtoestellen**
Fungiciden . . . . zie **Agro-biologisch onderzoek**
Fytofarmaceutisch onderzoek . . . .

Galliumfosfide, *P-N*-luminescentie 22,384; 25, 56

Gammastraling:
meting bij kernreactor . . . 19,294
zakdosismeter. 16,134
Gasanalyse, zie **Omegatron**
Gasbinder, bariumspiegel 19,308
Gaslagers. 25,302
Gaslaser, kleine stabiele. 24,217

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Gasontladingsbuizen:
koudekatodebuizen Z 800 U, Z 801 U 18,237
indicatorbuis voor teller . . 21,233
zie ook **Thyratrons**

Gasontladingslampen:
voorschakelapparaten, zie aldaar
zie verder:
Flitslampen
Fluorescentielampen
Kwiklampen
Natriumlampen

Gedrukte bedrading:
in radiotoestellen 20, 71
in autoradio 24, 29
mechanische montage op — (TV-toestel) 24, 45
Geheugens, lezen van magneetring— 20,180
Geiger-Müller-telbuizen, zie **Telbuizen**

Geluid:
moderne —techniek (beheersing akoestiek) . . 17,223 20,263 21, 54
hoortoestellen 17,317 19,133
—spectroscoop met elektronische aftasting . . . 21,360
zie verder:
Grammofoons
Luidsprekers
Muziek
Stereofonie

Gelijkrichters:
bestuurbare Si— in omzetters 23,255
zie verder:
Germaniumdiodes
Stabilisatie van spanning
Thyratrons

Gelijkstroom-wisselstr.-omzetters:
met transistors 20,347
met bestuurbare Si-gelijkrichters 23,255
Gereedschapswerktuigen, numerieke besturing 24,165 24,289

Germanium:
—diodes:
werking en constructie 16,230
toepassing Ge-puntcontactdiodes 16,242
dislocaties in — 19,375
bereidingsmethodes (zonesmelten, drijvende kroes) . 21,189
dislocatievrije —kristallen . 21,336
inhomogeniteiten in gedoteerde —kristallen 25,107
—transistors, zie **Transistors**

Geschiedenis:
50 jaar hogedrukkwiklamp 18,135
toepassing van glas 22,294
stralingsovens 23,165
ontstaan Philips' gloeilampenfabrieken 23,202
rekenmachine van Blaise Pascal 24,102
spreekmachine van Von Kempelen 24,354
van meten van menselijke reactietijden 24,383
50 jaar halfwattlamp 25, 2
50 jaar fysisch onderzoek bij Philips 25,159
40 jaar vastestofchemie bij Philips 25,183
Getterionenpomp 22,272
Getterspiegels van barium . . . 19,308
Gezichtsscherpte in verband met televisie 16, 79

Glas:
aaneensmelten van venster en conus van beeldbuizen 20, 6
losmaakbare —verbindingen 22, 61
historie toepassing van — . . 22,294
structuur (o.a. invertglazen) 22,312
meten en regelen bij fabricage 22,324
ballonblaasmachines 22,333
onderzoek materiaal voor —metaalaansmeltingen . . 22,351
Glazuren, glimpunt van — . . . 17,127

Gloeilampen:
voor vliegveldbebakening . . 16,306
toevoegsels in wolfraam voor gloeidraden 19,109
spiegelcondensorlamp voor 8-mm-projectie 19,240
automatiseren van spiraalwikkelmachine 21,302
ballonblaasmachines voor — 22,333
ontstaan —fabriek 1891 . . 23,202
met jodiumhoudend vulgas 23,217 23,222
automatische digitale fotometer 23,254
schokbeproeving van — . . 24,193
50 jaar — met gasvulling (halfwattlamp) 25, 2
selectieve stralers voor — . . 25,349
Golfkarton, reductie snijverliezen met rekenmachine 24,121
Golfpijpapparatuur voor 2-mm-golven 22,122 22,229

Grammofoons:
fabricage van platen 17, 33
fabricage van saffier- en diamantnaalden 19,320
weergave hoge tonen door groeftasters 18, 95
magnetodynamische groeftaster 18,113 18,183
snijsnelheid stereoplaten . . 23,149
Groeistoffen in planten 17,266

Gyrator:
als nieuw netwerkelement . . 18,104
realisatie bij microgolven . . 18,126
Gyromagnetische resonantie . . 18, 56 18,126 19,329

Halfgeleiders:
meting soortelijke weerstand en Hall-coëfficiënt 20,221
galliumfosfide, *P-N*-luminescentie 22,384 25, 56
zie verder:
Fotogeleiding
Germanium
NTC-weerstanden
Silicium
Transistors
Vastestofonderzoek
Hall-coëfficiënt, meting 20,221
Hartfrequentie, continue meting van — 21,297
Havenradar Nieuwe Waterweg 20,361
Heetgasmotor, nieuwe constructie met ruitdrijfwerk 20,325
Herbiciden, zie **Agrobiologisch onderzoek**

Hoogfrequentieverhitting:
inductieve —, met waterstofthyratrons 20, 12
zendbuizen voor — 20,241
toepassing in houtindustrie 23,170

Hoogspanningsgenerator:
compacte 100-kV-generator voor neutronenbuis 23,354
1-MV— voor produktie van snelle neutronen 17,159
Hoortoestellen 17,317 19,133
Houtindustrie, elektronentechniek in — 23,169
Hydraulische servomotor 24,311
Hypparschalen, zie **Expo Brussel 1958**

Hysteresislus:
automatische registratie . . 16,217
ferrieten met rechthoekige —, zie **Ferroxcube**

Impedantiemeting met lange leiding 16,325
Implosievaste beeldbuis 25,146
Impulsmagnetron, zie **Magnetrons**
Impulstransformator voor radarzender 18,377
Indicatorbuis voor decimale telschakelingen met transistors . . 21,233
Indiumantimonide, eigenschappen en toepassing 22,357
Informatietheorie en entropie . . 18,170
Inhaalbuizen, zie **Klystrons**
Inhomogeniteiten in gedoteerde Ge- en Si-kristallen 25,107
Insekticiden, zie **Agrobiologisch onderzoek**
Interferentie aan dunne laagjes 19, 50
Interferentiespiegels voor kleurscheiding 24,261
Interpoleren met elektronisch rekenorgaan 24,106 24,298

Ionisatiemanometer:
eenvoudige — 17, 96
gebruik als pomp 20, 97
IPOVOX 24,348
Isocandelakrommen, automatische registratie van — . . . 20,320 23,262
Isotopen, zie **Radio-isotopen**
Isoxsuprine („Duvadilan") . . . 24, 73

Jodiumhoudend vulgas, gloeilampen met — 23,217 23,222

Katodes, zie:
Naleveringskatodes
Oxydekatodes
Wolfraam-thoriumkatodes

Katodestraalbuizen:
sedimentatie van scherm . . 16,265
met langwerpig venster . . . 19, 59
voor lage anodespanning . . 19,164
oxydekatode met halfwattgloeidraad voor — 23, 24
meting intensiteitsverdeling lichtstip 25, 29
zie ook **Televisiebeeldbuizen**

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Kernfysisch onderzoek, technische toepassingen (intreerede Oosterkamp) 24, 1

Kernreactoren:
- bassintype, instrumentatie 19,253 / 19,289
- **suspensie— van KEMA:**
  - motivering van keuze . 21, 85
  - meting en regeling werkparameters 21, 98
  - meting kl. neutronenflux 21,136
  - meting gr. neutronenflux 21,147
  - beveiligingsschakeling . 21,151

Kernspinresonantie 21,278
Kiezer voor telefonie (U 45a) . . 18,368
Kleurentelevisie, zie **Televisie, kleuren—**
Kleurpunt, analogon-rekenmachine voor — van lichtbron . . 23, 89
Kleurweergave van „TL" lampen 18,221

Klystrons:
- multireflexiebuis 17,293
- multireflexie— voor microgolfbakens 24,178
- reflexie— voor 4 mm golflengte . . . . . 18, 55 / 21,225
- reflexie— voor 2,5 mm golfl. 21,225
- ruisarme — voor groot vermogen 19, 15

Koolboogbeeldoven voor zonesmelten van oxydes 23,143
Koortsthermometer 17,274
Koudekatodebuizen Z 800 U, Z 801 U 18,237

Koudetechniek:
- koudgaskoelmachine, grondslagen 16, 33
- koudgaskoelmachine, constructie 16, 61
- luchtsplitsingsinstallatie . . 20,196
- sneeuwafscheider voor vloeibareluchtinstallaties . . . 23, 59
- produktiecentrum vloeibare stikstof 25,348

Kraakvrije potentiometer 20,291
Kraan, snel ontgasbare hoogvacuüm— 17,231

Kristallen:
- structuurbepaling met röntgenstralen 22,135
- structuurbepaling met neutronen 23, 33
- roosterfouten in ionen— . . 22,406
- zie ook **Germanium** en **Silicium**

Kwiklampen:
- lagedruk— met fluorescentie, zie **Fluorescentielampen**
- **hogedruk—:**
  - overzicht ontwikkeling 18,135
  - toepassing HPK-lamp voor verlichting gedenkzuil 18,234
  - flitsende superhogedrukkwiklamp (SPP 800 W) 21,121

Lage temperatuur, onderzoek bij —, zie **Vastestofonderzoek**
Lagentransistors, zie **Transistors**

Lagers:
- magnetisch aslager 22,238
- principe zweeflager 25,296
- gas— 25,302
- spiraalgroef— 25,308

Lakdraad, fabricage en onderzoek 23,358
Lampen, zie:
- **Flitslampen**
- **Fluorescentielampen**
- **Gloeilampen**
- **Kwiklampen**
- **Natriumlampen**
- **Verlichting**

Laser, kleine stabiele gas— . . . 24,217

Lassen:
- stift— 17, 12
- bekist — 19,338
- Peltier-effect bij weerstands— 20,174
- boog— van staal (zirkoonbas. elektrode; CO_2-lassen) . 24, 14

Leesmatrix, fotogelijkrichtende laag voor — 23,329
Legeer-diffusietechniek voor vervaardiging h.f.-transistors . . . 24,229
Levitatie door magnetostatische velden 18,109
Lichtverdeling, meting . . . . 20,320 / 23,262
Lichtstipaftaster, zie **Televisie, lichtstipaftaster**

Lineaire elektronenversnellers:
- toepassing voor röntgentherapie 17,197
- in röntgeninstallatie voor materiaalonderzoek 23,309

Lineaire programmering 24,121
L-katode, zie **Naleveringskatodes**
Luchtsplitsingsinstallatie . . . 20,196 / 25,348
Lucifersdoosjes, keuring fineer . . 23,174

Luidsprekers:
- dubbelconus— 16,289
- —installatie voor zeer goede weergave in huiskamer . . 18,308
- met hoge weerstand 19, 1
- professionele — 20,272
- metingen aan — 21,368
- berekening van ferroxduremagneten voor — 24,144

Magneetringgeheugens, lezen van 20,180
Magneten, permanente, afmetingen bij verschillende materialen 19, 23

Magnetische materialen:
- automatische registratie hysteresislus 16,217
- bepalen van magnetische grootheden door verplaatsingsmetingen 25,119
- snelle, nauwkeurige metingen aan kleine monsters (vibratiemethode) 25,139
- zie verder:
  - **Ferroxcube**
  - **Ferroxdure**
  - **Ferroxplana**
  - **„Ticonal"**

Magnetische registratie:
- van stuursignalen 20,169
- geheugenwiel voor televisiebeelden 22, 1
- van televisie (studiokwaliteit) 24, 84
- model 5000 : 1 voor onderzoek van — 25,365

Magnetische resonantie:
- para— 19,325
- kernspinresonantie 21,278
- dubbele — 24,201

Magnetostatische velden:
- levitatie door — 18,109
- opwekking sterke — met supergeleidende dynamo . . 25, 16

Magnetostrictieve trillers, zie **Piëzomagnetische trillers**
Magnetronfornuis 22, 99

Magnetrons:
- serie impuls— voor 3-cm- tot 4-mm-golven 21, 1
- voor fornuis 22,101
- met naleveringskatode . . . 23,302
- impuls— voor 2½ mm golfl. . 25,129

Materiaalonderzoek:
- buigproeven 17,271
- met röntgenbeeldversterker 17, 90
- 4-MeV-röntgeninstallatie voor — 23,309

Mechanisatie:
- ballonblaasmachines 22,333
- mechanische montage van TV-toestellen 24, 45
- trilvullers 24, 88

Mechanische spanningen in glas, onderzoek 22,351
Meetleiding, symmetrische, voor u.k.g. 21,112

Metalen:
- verontreinigingen, invloed (intreerede Fast) 17, 1
- staal, zie aldaar
- wolfraam, zie aldaar

Meteorologie:
- radiosonde 16,115
- radarsonde 19,302

Microfonie van elektronenbuizen 22, 80
Microfoonopstellingen, zie **Geluid,** moderne —techniek

Microgolven:
- bredebandversterker met 7-cm-schijftriode 19,149
- 10-W-bredebandversterker met 7-cm-schijftriode . . . 21, 75
- richtingsisolatoren . . . . 18,126 / 22, 16
- gebruiksmogelijkheden van cm-golftriodes 22, 22
- 2-mm-golfpijpapparatuur . 22,122 / 22,229
- afgeschermde meetruimte . . 23,189
- bakens met multireflexieklystron 24,178
- zie ook:
  - **Klystrons**
  - **Magnetrons**
  - **Radar**
  - **Ruis**
  - **Versterkbuizen**

Microradiografie . . . . . 17,189 / 19,185
Microtoom, ultra— 17,183
Millimetergolven, zie **Microgolven**
Millivoltmeter voor gelijkspanning, elektronische (GM 6010) . 16, 11

Modulatiemethodes:
- overzicht (symposiumvoordracht) 25,171
- amplitudemodulatie van cm-golven met ferroxcube . . . 18, 56
- „Frena" en „Frenac" . . . 19, 65
- „compatible" eenzijbandmodulatie 25,317
- frequentiemodulatie, zie aldaar

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Molecuulgewicht, bepaling met NTC-weerstand 20,352
Montage op gedrukte bedrading 24, 45
Multiplicatorbuizen, zie **Fotomultiplicatoren**
Multireflexiebuizen, zie **Klystrons**

Muziek:
elektronische:
Philipspaviljoen Brussel (Varèse) 20,167
technische hulpmiddelen; compositie (Badings) 19,269
diverse instrumenten . . 18, 63
instrument voor doofstomme kinderen 18,206
vergelijking weergegeven en echte — 17,191
ambiofonie, zie **Geluid,** moderne —techniek

Naleveringskatodes:
overzicht van — 19,226
geperste katode 19,228
geïmpregneerde katode . . . 19,235
wolfraambewerking voor geïmpregneerde katodes . . . 17,234
L-katode, toepassing in schijftriode EC 57 18,321
in magnetrons . . . . . 21, 1 / 23,302

Natriumlampen:
nieuwe mogelijkheden van constructie 23,226
voor wegverlichting 23,239

Natuurkundig Laboratorium:
jubileumviering (kermis der wetenschap) 18, 62
nieuw gebouwencomplex . . 25,206
Symposium september 1963 25,157-240

Neoninstallaties, parasitaire capaciteiten in — 21,200
Netspanningsstabilisatoren . . . 17,149

Neutronen:
—diffractie 23, 33
meetmethodes —flux (bij bassinreactor) . . . . . 19,257 / 19,289
meetmethodes —flux (bij suspensiereactor) . . . 21,136 / 21,147
afgesmolten —buis 23,341
generator van snelle — . . . 17,159
—spectrometer te Harwell 16, 97
Noëmatachograaf 24,383

NTC-weerstanden, toepassingen:
spanningsstabilisator 17,149
koortsthermometer 17,274
transistorschakeling . . . 18,212 / 20, 48
molecuulgewichtsbepaling . 20,352

Numerieke besturing:
van gereedschapswerktuigen i.h.a. (openbare les Viersma) 24,165
van contourfreesbank . . 24,289 / 24,298 / 24,311

Omegatron:
voor kwalitatieve gasanalyse 19,266
voor kwantitatieve gasanalyse 22,199
restgasonderzoek aan beeldbuizen 23, 92
Onkruidbestrijding, zie **Agrobiologisch onderzoek**
Ontladingsflitslampen, zie **Flitslampen**
Ontvangbuizen, zie **Versterkbuizen**

Oog:
fotografie van — 16, 46
zie verder **Perceptie**
Oor, zie **Perceptie**
Opdampen van cirkelvormige absorptiewig 22,418
Opdampen van weerstanden . . 24,329
Operations Research 25, 65
Opneembuizen voor televisie, zie **Televisie-opneembuizen**
Opto-elektronica (intreerede Diemer) 23,277
Optrekken van kristallen . . . 21,189 / 21,336 / 25,107
Orthocyclisch wikkelen van spoelen 23,381
Oscillator, niet-lineair belastbare l.f.— met zeer kleine vervorming 25, 20

Oxydekatodes:
voor belast. van 1-2 A/cm² . . 23, 21
met halfwattgloeidraad . . . 23, 24
Oxydes, zonesmelten van — . . . 23,143

Paramagnetische resonantie . . . 19,325
Parametrische versterking, eenvoudige experimenten 21,172
PASCAL, elektronische digitale rekenmachine 23, 1
Paviljoen Philips op **Expo Brussel 1958**, zie aldaar
Peltier-effect bij weerstandslassen 20,174
Peltier-koeling, toepassing in dauwpuntsapparaat 21,211

Perceptie:
Instituut voor — Onderzoek 24,337
toonhoogtegewaarwording . 24,341
fonetisch onderzoek 24,348
onderzoek visueel zintuigsysteem 24,355
maat voor perceptieve arbeid 24,362
elektronisch meetsysteem voor menselijke reacties . . 24,372
geschiedenis van meting reactietijden 24,383
hoorbaarheid van fazefouten 25, 74
Pesticiden, zie **Agrobiologisch onderzoek**
„Photoflux", zie **Flitslampen**

Piëzomagnetische trillers:
ferroxcube voor — 18,285
toepassing . . . . . 19, 37 / 19, 94
„Plumbicon", opneembuis voor televisie . . . . . 24, 64 / 25,277
P-N-luminescentie in GaP . . 22,384 / 25, 56
Pol, Balth. van der, wetenschappelijk werk van — 22, 44
„Posyn", „Potermo" en „Povin" draad 23,358

Potentiaalverdeling:
bepaling met weerstandsnetwerk 21, 11
bepaling met digitale rekenmachine 24,130
Priemgetallen, berekening met rekenmachine 24,157
Prisma voor kleurscheiding in kleurentelevisie 24,261
Projectie van film, zie **Filmprojectie**
Projectietelevisie . . . . . 19,353 / 20,343
Proportionele telbuis 18,266
Pupilreflex 24,355
Puzzel, oplossen met PASCAL . . 24,151
Pyrometer met fototransistor . . 20, 79

Radar:
impulstransformator voor — zender 18,377
—sonde 19,302
—keten Nieuwe Waterweg 20,361
installatie voor 8-mm— . . 21, 41
antenne met snel draaiende bundel (Luneburg-lens) . . 22, 37
met 4-mm-golven 25,241
Radioactieve besmetting, aantonen van — 16,360

Radioastronomie:
onderzoek straling van interstellaire waterstof 17,249
bouw ontvanger voor waterstofstraling 17,341
75-cm-ontvanger voor — . . 21,313
Radiobuizen, zie **Versterkbuizen**
Radiogolven, onderzoekatmosfeer met — (intreerede Bremmer) . . 22, 69

Radio-isotopen:
aantonen radioactieve besmetting 16,360
radioactief jodium in schildklier 18, 93
als bron van röntgenstralen 18,299
activiteitsmeting van zwakke bètastraling 20,121
onderzoek zandtransport Deltawerken 21,161
proeven met „Tedion V18" 21,242
slijpmachientje voor diffusieonderzoek 25,103

Radio-ontvangtoestellen:
antennes:
inductieve — 16,149
FM— 17,388
kleine ferroxcube— voor FM 24,324
FM-gedeelte van — 17,382
verhoudingsdetector voor FM 17,386
met transistors, gevoed uit thermozuil 18,158
gedrukte bedrading in — . . 20, 71
transistor-autoradio met druktoetsafstemming . . . 24, 29
zie ook:
Luidsprekers
Ruis
Versterkbuizen
Radiosonde 16,115
Radiostoringen door fluorescentielampen 20, 84
Reactietijden, menselijke, zie **Perceptie**
Reflexieklystrons, zie **Klystrons**
Reflexiemeting met lange leiding 16,325

Regeltechniek:
elektronische regeling industriële processen 16,371
regeling van werkparameters suspensiereactor KEMA . . 21, 98

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

regeling van temperatuur in glasoven 22,324
theorie van regelkringen met lineaire elementen 23, 79
kringversterking en stabiliteit 23,114
niet-lineair registreertoestel in regelkring 23,159
Rekenmachines, Analogon—, zie aldaar
Rekenmachine van Blaise Pascal 24,102

Rekenmachines, digitale elektronische:
lezen van magneetringgeheugens 20,180
de PASCAL. 23, 1
rekengeluiden van PASCAL 24,157
toepassingen:
onderzoek magneetveld isochroon cyclotron . . 24,106
reductie snijverliezen van golfkarton . . . 24,121
potentiaalvelden, elektronenbanen 24,130
dimensionering luidsprekermagneten. 24,144
oplossen legpuzzel . . . 24,151
opdampproces van weerstanden 24,329
Rekstrookjes, toepassing bij model Expo-paviljoen. 20,141
Relaisbuizen, zie Koudekatodebuizen en **Thyratrons**
Residu-effect 24,341

Richtingsisolatoren:
toepassing van ferroxcube voor— 18,126
voor 8-mm- en 4-mm-golven 22, 16

Röntgenbeeldversterker:
constructie van 12,5-cm-buis 17, 65
zichtbaarheid objectdetails . 17, 68
optische hulpmiddelen bij — 17, 73
periscoop-optiek voor— . . 17, 80
medische beschouwingen . . 17, 85
materiaalonderzoek met — . 17, 90
cinematografie met 12,5-cm-buis 17, 86
cinematografie met 28-cm-buis 20,305
toepassing voor richten diamant 21,156
onderzoek hete blokken staal met— 21,273

Röntgenbuizen:
voor microradiografie . . 17,189 / 19,189
onderzoek warmtegeleiding in anode 18, 11
diffractiebuis voor 10 kW . . 19,345
met lange elektronenbanen 20,248

Röntgendiagnostiek:
schermbeeldfotografie voor algemene — 16, 51
met beeldversterker 17, 85
„Symmetrix" statief 17,101
„Müller" UGX statief . . . 17,162
dosismeters voor — 23, 47
harmoniseren van röntgenbeelden 24,269

Röntgendiffractieonderzoek:
met telbuizen (diffractometer) 16,253
bepaling kristalstructuren . 22,135
zie verder **Telbuizen, röntgenintensiteitsmeting met —**

Röntgenmateriaalonderzoek:
met beeldversterker 17, 90
van hete blokken staal . . . 21,273
lineaire versneller voor —, 4 MeV 23,309

Röntgentherapie:
met bewegende buis (TU 1) 16, 1
lineaire elektronenversnellers voor — 17,197
dosismeters voor — 23, 47

Röntgen, diversen:
cinematografie, zie **Röntgenbeeldversterker**
dosimetrie zeer zwakke straling. 19,280
harmoniseren van röntgenbeelden 24,269
intensiteitsmeting met telbuizen, zie **Telbuizen, röntgenintensiteitsmeting met —**
microradiografie . . . . 17,189 / 19,185
projectietopogrammen van dislocaties 23,192
radioactieve nuclides als röntgenbron 18,299
spectrochemische analyse . . 17,361
zakdosismeter. 16,134
Roosteremissie diverse materialen . . . . . 19,124 / 20,370

Roosterfouten:
in verband met vreemde atomen (intreerede Fast) . . . 17, 1
bestudeerd aan alkalihalogenides 20, 51
invloed in metalen, halfgeleiders en ionenkristallen . . . 22,406
zie ook **Germanium** en **Silicium**

Ruis:
kwalitatief overzicht (intreerede Knol). 20, 29
ontvanger met bijzonder laag —niveau (radioastronomie) 17,341
ruisfactor, autom. indicator 18,122
meting van — aan klystron 19, 16
diode als —standaard voor decimetergolven 19,383
standaardruisbronnen (microgolven). 23,284
—generator voor mm-golven 22,404
spraakoverbrenging bij sterke — („Frena") 19, 65
in röntgenbeeldversterker . . 17, 68
bij scintillatieteller. . . . 20,216 / 20,257

Saffiernaalden, fabricage 19,320
„Scenioscope", opneembuis voor televisie 17,173
Schildklier, aantonen van radioactief jodium in — 18, 93
Schimmelbestrijding, zie **Agrobiologisch onderzoek**
Schmidt-optiek, zie **Spiegelsysteem van Schmidt**
Schokbeproeving van gloeilampen 24,193
Schijftriodes, zie **Versterkbuizen**

Scintillatietellers:
grondslagen. 20,209
signaal-ruisverhouding en dode tijd van — 20,257
toepassing voor röntgenstralen 18,268

Secundaire emissie:
in televisie-opneembuizen . . 17,173
in fotomultiplicator 21,254
Selectieve thermische stralers . . 25,349
Seriebalansschakeling 19, 1
Serieschakeling van lampen (vliegveldbebakening) 17, 20
Servomotor, hydraulische, voor freesbank 24,311

Silicium:
bereiding door kroesvrij zonesmelten 21,189
bestuurbare —gelijkrichters in omzetters 23,255
whiskers van —carbide . . . 24,175
inhomogeniteiten in gedoteerde —kristallen 25,107
Slinger van Foucault voor Verenigde Naties 19,243
Slijpmachientje voor diffusie-onderzoek met radio-isotopen . . . 25,103
Smoorspoelen, levensduur in voorschakelapparaten 20, 18
Sneeuwafscheider voor vloeibareluchtinstallaties 23, 59
Snelheidsmodulatie, zie **Klystrons**
Snijsnelheid van stereo-grammofoonplaten 23,149
Soldeerbaarheid van draad . . . 20,109
Spanningsonderzoek in glas . . . 22,351
Spanningsregeling, zie **Stabilisatie van spanning**
Spanningsverhouding, oscillografisch opnemen van complexe — 19, 11
Spectrochemische analyse met röntgenstralen 17,361
Spectroscopie, tijdafhankelijke. . 19,203
Speelgoed, draadloos bekrachtigd 24, 66
Spiegels, kleursplitsende . . . 19, 50 / 24,261
Spiegelcondensorlamp voor 8-mm-projectie 19,240

Spiegelsysteem van Schmidt:
voor algemene röntgendiagnostiek. 16, 51
voor projectietelevisie . . . 19,353
voor röntgencinematografie . 20,305
Spiraalgroeflagers 25,308

Spiraalwikkelmachine:
automatisering 21,302
visuele waarneming 22,252
Spoelen, filters zonder — voor lage frequenties 25,376
Spoelen, orthocyclisch wikkelen van — 23,381
Spraak, synthese van — 24,348
Spreekmachine van Von Kempelen 24,354

Staal:
booglassen van — 24, 14
waterstof in ijzer en — . . . 24,220 / 24,251
Stabilisatie van frequentie voor straalzender 17,392

Stabilisatie van spanning:
netspanningsstabilisatoren . 17,149
voor emissie-elektronenmicroscoop (45 kV) 18, 1
2000-V-voedingsapparaat m. buizen en transistors . . . 25, 93
Statistiek, toegepaste (intreerede Hamaker) 22,113
Sternvorkmodulator voor CERN-cyclotron 22,170

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Stereofonie:
vergelijking weergegeven en echte muziek 17,191
toepassing in zalen 20,263; 21, 54
Stereofoto van dislocaties 23,197
Stereonagalm (ambiofonie), zie **Geluid,** moderne —techniek
Sterren, opsporen van veranderlijke — met televisietechniek . . 19,130
Stiftlassen 17, 12
Stikstof, bereiding van vloeibare — uit lucht 20,196; 25,348

Straalzenders:
met dubbele frequentiemodulatie 17,281
frequentiestabilisatie voor — 17,392
bredebandversterker met 7-cm-schijftriode 19,149
10-W-bredebandversterker met 7-cm-schijftriode . . . 21, 75
relaisposten met schijftriodes voor — 22, 22
zendbuizen voor —:
multireflexiebuis . . . 17,293
schijftriodes 18,321; 20,295

Stralingsmetingen:
zakdosismeter voor röntgen- en gammastraling. 16,134
aantonen radioactieve besmetting 16,360
monitor met transistors . . . 21,216
zie verder **Dosimetrie** en **Telbuizen**

Stralingsverhitting:
oven voor zonesmelten . . . 23,143
oude stralingsovens 23,165
Structuuronderzoek, zie **Kristallen**
Subminiatuurbuizen, zie **Versterkbuizen**
Supergeleiding, dynamo voor keten met — 25, 16
Suspensiereactor van KEMA, zie **Kernreactoren**
„Symmetrix" 17,101
Symposium Natuurkundig Laboratorium september 1963 . 25,157-240
Synchrocyclotron, zie **Cyclotron**

„Tedion V18" 17,126; 19,170; 21,242
Tegenkoppeling in versterkers voor draaggolftelefonie 16,175
Telapparatuur voor microscopische deeltjes 21,345

Telbuizen:
Geiger-Muller—:
ring van — voor schildklier 18, 93
voor röntgenstralen . . 18,264
waaktelbuis voor zwakke bètastraling 20,121
röntgenintensiteitsmeting met —:
diffractometer. 16,253
methodiek van — . . . 17,300
automatische impulsdichtheidsmeter . . . 17,334
röntgenspectrochemische analyse 17,361
constructie en eigenschappen van telbuizen 18,264
proportionele telbuis voor röntgenstralen . . 18,266
scintillatietellers, zie aldaar zie ook **Tellers**

Telefonie:
tegengekoppelde versterkers voor draaggolf— 16,175
huistelefoonsysteem UB 49 . 17,321
kiezer U 45a 17,321; 18,368
bij hoge ruisniveaus („Frena" en „Frenac"). 19, 65
Televisie, toepassing van ultrasone vertragingslijnen in —. . . 25,326

Televisiebeeldbuizen:
sedimentatie van scherm . . 16,265
pentodekanon. 18, 73
flitsopnamen van implosie. . 18,352
aaneensmelten van venster en conus. 20, 6
restgasonderzoek 23, 92
experimenteel fluorescentiescherm voor kleuren— . . 23,133
implosievaste —. 25,146

Televisie, kleuren—:
grondslagen. 19, 80
kleursplitsende spiegels . . . 19, 50
kleursplitsend prisma . . . 24,261
projectie (o.a. op 2,25 × 3 m) 19,353
voor medisch onderwijs . . . 20,343
lichtstipaftaster voor — . . 21,251
experimenteel fluorescentiescherm voor beeldbuis . . 23,133

Televisie, lichtstipaftaster:
voor 35-mm-film. 18,161
voor kleuren 21,251
toepassing voor opsporen veranderlijke sterren. 19,130

Televisienormen:
beschouwingen over verschillende —. 16,196
ontvanger voor 4 normen . . 17,137
lijnenvertaler 25,344

Televisieontvangst:
gezichtsscherpte bij — . . . 16, 79
ontvanger voor 4 normen . . 17,137
fazelineariteit van ontvangers 18, 37
lichte rand om scherm . . . 19,161
dosimetrie zwakke röntgenstraling bij — 19,280

Televisie-opneembuizen:
beeldiconoscoop met glazen trefplaat („Scenioscope") . 17,173
met fotogeleiding 16, 43
„Plumbicon" 24, 64; 25,277

Televisieregistratie:
magnetische — op geheugenwiel 22, 1
op magneetband (studiokwaliteit) 24, 84

Tellers:
met decimale telbuizen (E1T) 16,313
voor aantonen radioactieve besmetting 16,360
monitor met transistors . . . 21,216
indicatorbuis voor decimale — met transistors. 21,233
scintillatietellers, zie aldaar zie ook **Telbuizen**
Teller, actieve, voor automatisering spiraalwikkelmachine . . . 21,302

Temperatuurmeting:
koortsthermometer 17,274
pyrometer met fototransistor 20, 79
Theaters, zie **Geluid,** moderne —techniek
Therapie, röntgen—, zie **Röntgentherapie**
„Thermoplac" draad 23,387
Thermozuil voor voeding radiotoestel 18,15

Thyratrons:
beproeving door meting roosterstroom 16, 72
levensduurproeven (MT 5544 en MT 5545) 16,140
waterstof— voor inductieve verhitting 20, 12

„Ticonal":
elektronenmicrofoto's . . . 19, 76; 25,201
vergelijking van diverse materialen (o.a. — XX) . . . 19, 23
Titanaten voor condensatoren . . 17,111
„TL" lampen, zie **Fluorescentielampen**
„Todd-A.O." systeem 17,353
Toonhoogtegewaarwording . . . 24,341
Topotaxie 20,367
Totale reflexie, maken van vingerafdrukken met —. 25, 58
Tracers, zie **Radio-isotopen**
Transformatoren, levensduur in voorschakelapparaten 20, 18

Transistors:
eenvoudige theorie 17,201
bij grote stroomdichtheden 18, 20
als netwerkelement bij lage frequenties 18,329; 19, 26; 20, 38
vervaardiging van stabiele — 22,208
vervaardiging h.f.— met legeer-diffusietechniek . . 24,229
gedrag bij opvoering van de frequentie 25, 33
toepassingen:
hoortoestel 17,317; 19,133
radiotoestel, gevoed uit thermozuil. 18,158
voorversterker magnetodynamische groeftaster 18,210
lichtrelais 19,296
pyrometer met fototransistor 20, 79
omzetter gelijkstroom-wisselstroom voor voeding „TL" lamp . . . 20,347
autoradio. 24, 29
gestabiliseerd 2000-V-voedingsapparaat met buizen en transistors . 25, 93
Trekstenen van diamant 16, 87
Triller 16, 12
Trillingsopnemer, elektrodynamische (PR 9260) 17, 56
Trilplaatcondensator, voor elektrometer 25, 77
Trilvullers 24, 88
Triodes, zie **Versterkbuizen** en **Zendbuizen**
Turbines, permanente controle van — 17, 55

Ultrakorte golven:
u.k.g.-zendtriode TBL 2/300 19,118

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

symmetrische meetleiding voor — 21,112
75-cm-ontvanger voor radioastronomie 21,313
zie verder:
Frequentiemodulatie
Ruis
Versterkbuizen
Ultramicrotoom 17,183

Ultrasone trillingen:
ferroxcube voor piëzomagnetische trillers 18,285
materiaalbewerking met — 19, 37
(machines 50 W en 2 kW) 19, 94
zendbuizen voor — 20,241
vertragingslijnen, toepassing in televisie 25,326

Vaatverwijdend middel „Duvadilan" 24, 73

Vacuümtechniek:
kraan met korte ontgassingstijd 17,231
ionisatiemanometer . . . 17, 96
20,105
extreem lage drukken . . . 20, 97
metalen vacuümapparatuur 21,177
losmaakbare glasverbindingen 22, 61
getter-ionenpomp 22,272
zie verder **Omegatron**
Vastestofchemie, overzicht werk van Philips 25,183

Vastestofonderzoek:
overzicht (intreerede Polder) 21,330
bij lage temperatuur:
inleiding 22,193
elektronengeleiding . . 22,246
warmtegeleiding in isolatoren; paramagnetisme; diëlektrische verliezen 22,280
verhitting in damp bij regelbare druk en temperatuur 24,238
zie ook **Halfgeleiders** en **Roosterfouten**
Vector-elektrocardiografie . . . 21, 25

Verlichting:
in treinen enz. 18, 28
20,347
Nationaal Monument, Amsterdam 18,234
openluchtlaboratorium voor weg—. 19,199
van verkeerswegen 23,239

Verontreinigingen in metalen:
overzicht van invloed . . . 17, 1
in wolfraam 19,109
waterstof in ijzer en staal . 24,220
24,251
Verplaatsingsmeter, bepalen van magnetische grootheden met — 25,119
Verplaatsingsopnemer 17, 58

Verschilversterkers:
algemene beschouwingen . . 22,366
schakelingen voor — . . . 23, 69
23,119
met rejectiefactor $> 10^6$ . . 24,279
toepassing in cardiografie . . 21, 25

Versnellers voor elementaire deeltjes:
generator van snelle neutronen 17,159
afgesmolten neutronenbuis . 23,341
praktische betekenis van — (intreerede Oosterkamp) . . 24, 1
zie verder **Cyclotron** en **Lineaire elektronenversnellers**

Versterkbuizen:
professionele — 18,145
ruis, zie aldaar
schijftriodes cm-golven:
EC 57 18,321
EC 59 20,295
met keramiek (OZ 92) . 21,115
experimentele 6000-MHz-triode 21,182
diverse gebruiksmogelijkheden 22, 22
zie ook **Versterkers**
subminiatuurbuizen:
constructie 18,193
wolfraamdraad voor — 18,199

Versterkers:
voor draaggolftelefonie . . . 16,175
voorversterker voor groeftaster (AG 9005) 18,210
met direct gekoppelde luidsprekers 19, 1
bredeband— met 7-cm-schijftriode 19,149
10-W-bredeband— met 7-cm-schijftriode 21, 75
400-MHz— voor radioastronomie (met EC 157) 21,313
zie ook **Ruis** en **Verschilversterkers**
Versterking van helderheid, zie **Beeldversterker**
Vertragingslijnen, ultrasone . . . 25,326
Vervorming van metalen 17, 1
Vingerafdrukken, maken van — met totale reflexie 25, 58
Visueel zintuigsysteem 24,355
Vliegtuigen, blikseminslag . . . 17, 94

Vliegveldbebakening:
ontwerp en lichtbronnen . . 16,298
voedingsapparatuur 17, 20
Vloeibareluchtinstallaties, zie **Koudetechniek**
Voltmeter, elektronische milli—, voor gelijkspanning (GM 6010) 16, 11

Voorschakelapparaten:
geluidemissie van — 18, 83
kleine — voor „TL" (met polyesterhars) 18,279
levensduur transformatoren en smoorspoelen 20, 18
levensduur condensatoren . . 20,114

Waaktelbuis 20,121
Walserij, röntgenonderzoek hete blokken staal 21,273
Warmtegeleiding, onderzoek met elektrolyttrog 18, 11
Warmtegeleidingsvermogen van vaste stoffen, meetmethode . . 22, 12
Waterstof in ijzer en staal . . . 24,220
24,251
Weergeefbuizen, zie **Televisiebeeldbuizen**
Weerstand, meting soortelijke, van halfgeleiders 20,221
Weerstanden, vervaardiging door opdampen 24,329
Weerstandslassen, invloed van Peltier-effect bij — 20,174

Weerstandsnetwerk:
beschrijving van — 21, 11
toepassing voor schrijven van elektronenbanen 23,368
Wegverlichting, zie **Verlichting**

Weiss-gebieden, zichtbaarmaking:
met Faraday-effect 19,371
met Bitter-figuren 24,240
Wetenschap en industrie (rede Casimir) 20, 65
Whiskers van SiC 24,175
Wikkelen, orthocyclisch 23,381

Wolfraam:
bewerken van — voor geïmpregneerde katode 17,234
draad voor kleine radiobuizen 18,199
functie van toevoegsels in — 19,109
Wolfraam-thoriumkatodes, toepassing in zendbuizen 19,118
20,241

IJzer, zie **Staal**

Zaalakoestiek, zie **Geluid**, moderne —techniek
Zagerij, elektronentechniek in — 23,169
Zandtransport (Deltawerken), onderzoek met radio-isotopen . . 21,161

Zendbuizen:
u.k.g.-triode tot 900 MHz (TBL 2/300) 19,118
onderzoek roosteremissie 19,124
diverse materialen . . . 20,370
voor hoogfrequentieverhitting en ultrasone trillingen . 20,241
zie verder:
Klystrons
Magnetrons
Versterkbuizen
Zien bij zeer laag lichtniveau . . 25,254
Zinksulfide, etsputten 24, 68

Zonesmelten:
van Ge en Si, diverse methodes (o.a. kroesvrij) 21,189
van oxydes in koolboogbeeldoven 23,143
„Zoom"-optiek, beeldversterker met elektrostatische — 25,254
Zweeflager, principe 25,296

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

REGISTER VAN ARTIKELEN, GERANGSCHIKT VOLGENS AUTEURS

JAARGANGEN 16-25

Het bij elk artikel vermelde vet gedrukte getal geeft de jaargang aan, het daarop volgende getal de bladzijde. Artikelen gemerkt met een sterretje * zijn korte mededelingen. Voor artikelen verschenen in de jaargangen **1-15** raadplege men de respectieve 10-jaren-registers opgenomen aan het eind van de jaargangen **10**, **15** en **20**.

Addink, C.C.J.
* Een elektrische koortsthermometer. **17**,274
Admiraal, D.J.H.
Een geluidsspectroscoop met elektronische aftasting **21**,360
Alink, R.J.H., H.J. Pel en B.W. Speekman
Fabricage en onderzoek van lakdraad **23**,358
Allaries, H.
Radar met 4-mm-golven **25**,241
Almer, F.H.R. en A. Kuiper
Nieuwe ontwikkelingen op het gebied van oxydekatodes,
II. Een oxydekatode met halfwattgloeidraad voor katodestraalbuizen. **23**, 24
— en P.G. van Zanten
* Een experimentele pyrometer met fototransistor voor onderzoek aan radiobuizen **20**, 79
Alphen, P.M. van
Toepassing van de röntgenbeeldversterker,
III. Optische hulpmiddelen bij de beeldversterker. **17**, 73
Toepassingen van de interferentie van licht aan dunne laagjes **19**, 50
— en M. Bierman
* Een spiegelcondensorlamp voor 8-mm-projectie . . **19**,240
Andrieux, G., zie Gieles, J.P.M.
Arlman, J.J., J.N. Svašek en B. Verkerk
Toepassing van radioactieve isotopen voor het bestuderen van het zandtransport door waterstromingen **21**,161
Baas, G.
* Demonstratie van de austeniet-perlietovergang met de emissie-elektronenmicroscoop **17**,147
— en G.W. Rathenau
Een emissie-elektronenmicroscoop voor onderzoek bij hoge temperaturen **18**, 1
Backers, F.Th.
Een magnetisch aslager **22**,238
— en J.H. Wessels
* Een experimentele apparatuur voor televisieregistratie op magneetband **24**, 84
Badings, H. en J.W. de Bruyn
Elektronische muziek **19**,269
Bähler, W.
* Automatisering van lichtsterktemetingen **20**,320
Een apparaat voor het automatisch registreren van isocandelakrommen van bundellichten. **23**,262
Bakker, W., zie Oort, J.F. van
Balder, J.J.
* Een lichte rand om het televisiescherm **19**,161
Gloeilampen met jodiumhoudend vulgas,
II. Toepassingsmogelijkheden **23**,222
— en M.H.A. van de Weijer
De „TL" F-lamp, een fluorescentiebuislamp met gericht licht **17**,215
Balder, T.C.
* De invloed van het Peltier-effect bij het weerstandslassen **20**,174
Bandringa, M., zie Venema, A.
Barneveld, E.J. van
Snel werkende telschakelingen met de decimale telbuis **16**,313
Bartlett, B.E., zie King, R.E.J.
Basel, C. von, H.J. Lindenhovius en G.W. van Santen
Elektronische apparatuur voor de permanente controle van turbines **17**, 55
Bastiaans, C.R. en J. van der Steen
Optische meting van de snijsnelheid van stereogrammofoonplaten **23**,149
Bathelt, R.R. en G.A.W. Vermeulen
Een experimenteel fluorescentiescherm in directzichtbuizen voor kleurentelevisie **23**,133
Bayfield, W.A., zie Nemet, A.
Beek, R. van en W.W. Boelens
Gedrukte bedrading in radiotoestellen **20**, 71
— en A.J. Halbmeyer
Volledig gemechaniseerde montage van onderdelen op panelen met gedrukte bedrading **24**, 45
Beekman, W.J.H. en H.W. van der Voorn
* Een röntgendiffractiebuis met roterende anode voor 10 kW continu vermogen **19**,345
Beer, A.J.F. de
* Een elektrisch afgeschermde ruimte, geschikt voor microgolfmetingen **23**,189
—, H. Groendijk en J.L. Verster
Het schrijven van elektronenbanen met behulp van een weerstandsnetwerk en een analogon-rekenmachine **23**,368
Beljers, H.G.
Amplitudemodulatie van centimetergolven met behulp van ferroxcube **18**, 56
Toepassing van ferroxcube voor niet-reciproke golfgeleiders. **18**,126
Richtingsisolatoren voor millimetergolven **22**, 16
Berkhout, H.L.
Een televisieontvanger, geschikt voor vier normen . **17**,137
Beun, M. en L.J. Tummers
Het gedrag van transistors bij opvoering van de frequentie **25**, 33
—, zie Beijersbergen, J.P.
Beijersbergen, J.P., M. Beun en J. te Winkel
De lagentransistor als netwerkelement bij lage frequenties,
I. Karakteristieken en *h*-parameters **18**,329
II. Vervangschema's en afhankelijkheid der *h*-parameters van het instelpunt **19**, 26
III. Stabilisering van de gelijkstroominstelling, in het bijzonder in verband met temperatuureffecten **20**, 38
Bierman, M., zie Alphen, P.M. van
Biermasz, A.L. en A.J. Michels
Een elektronische millivoltmeter voor gelijkspanning **16**, 11
Blackler, F.G.
* Katodestraalbuizen met langwerpig venster **19**, 59
Bleeksma, G.J. en J.J. Schurink
Een luidsprekerinstallatie voor zeer goede weergave in de huiskamer **18**,308
Blink, W.P. van den, E.H. Ettema en P.C. van der Willigen
Stiftlassen met laspatronen **17**, 12
Blok, H. en J.J. Rietveld
Inductieve antennes in moderne omroepontvangers,
I. Historisch overzicht en algemene beschrijving **16**,149
II. Technische beschouwingen met betrekking tot inductieve antennes **16**,157
Blom, P.
* Hoortoestel met transistors **17**,317
— en P. Boxman
Een hoortoestel met transistors **19**,133
Boelens, W.W., zie Beek, R. van
Boer, F. de, P. Cirkel, W.F. Nienhuis en C.J.W. Panis
Een implosievaste beeldbuis voor televisie **25**,146
— en H. Emmens
Sedimentatie van fluorescerende schermen in katode-

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

straalbuizen 16,265
— en W.F. Nienhuis
Oscillograafbuizen voor lage anodespanning 19,164
Boer, J.B. de
Lichtbakens voor het landen van vliegtuigen . . . 16,298
* Een „Duplo" autokoplantaarn met asymmetrische dimbundel 17,132
Verlichting van verkeerswegen 23,239
—, zie Rutgers van der Loeff, M.
Boerdijk, A.H.
* Levitatie door magnetostatische velden. 18,109
Boerman, J.R., zie Schagen, P.
Bollée, B.
* Chladni-figuren op de trilcondensator van een synchrocyclotron 19, 92
— en F. Krienen
Het 600-MeV-synchrocyclotron van de CERN te Genève,
III. De stemvork-modulator 22,170
— en G. de Vries
* Experimenten op het gebied van parametrische versterking 21,172
Bommel, A.J. van, zie Braun, P.B.
Boort, H.J.J. van
Een „TL" lamp met verhoogd lichtrendement. . . 25, 86
—, M. Klerk en A.A. Kruithof
Storing van radio-ontvangst door fluorescentielampen 20, 84
— en D. Kolkman
De „TL" dubbelfluxlamp, een lamp met groot vermogen per lengte-eenheid 20, 1
Borgman, J.
* Toepassing van televisietechniek voor het opsporen van veranderlijke sterren 19,130
Botden, Th.P.J.
Een gasontladingsbuis voor indicatie in decimale telschakelingen met transistors 21,233
Bouma, A.L. en F.K. Ligtenberg
Het Philipspaviljoen op de Wereldtentoonstelling te Brussel 1958,
III. Het modelonderzoek voor de bouw van het paviljoen 20,141
Bouma, H., H.W. Horeman en J.A.J. Roufs
Enige onderzoekingen aan het visuele zintuigsysteem 24,355
Bouwhuis, G., zie Lang, H. de
Bouwmeester, E. en N. Warmoltz
Een eenvoudige en betrouwbare ionisatiemanometer 17, 96
—, zie Warmoltz, N.
Boxman, P., zie Blom, P.
Braun, P.B. en A.J. van Bommel
Bepaling van kristalstructuren met röntgenstralen . 22,135
—, zie Jonker, G.H.
Bregman, F., zie Tol, M. van
Brekoo, H.P.J. en A. Verhoeff
Een experimentele hoogspanningsgenerator van zeer kleine afmetingen. 23,354
Bremmer, H.
Het wetenschappelijke werk van Balth. van der Pol 22, 44
Radiogolven verkennen onze atmosfeer 22, 69
Brockelsby, C.F. en J.S. Palfreeman
Ultrasone vertragingslijnen en hun toepassing in de televisie 25,326
Brockman, F.G. en W.G. Steneck
Een apparaat voor de automatische registratie van hysteresiskrommen 16,217
Brooker, M.W. en D.G. Ware
Schakelingen voor het beproeven van thyratrons,
I. Het meten van de roosterstroom 16, 72
II. Levensduurproeven bij grote commuteringsfactor 16,140
Brown, W.B., zie Hendee, C.F.
Bruin, S.L. de
Verwezenlijking van het „Elektronisch Gedicht" in het Philipspaviljoen op de Wereldtentoonstelling te Brussel,
C. De elektronische besturing 20,169
Bruining, H., zie Heijne, L.
Bruyn, J.W. de, zie Badings, H.
Bruijning, H.G. en A. Rademakers
Voormagnetisering van de kern van een impulstransformator met ferroxdure 18,377
—, zie Heide, H. van der
Bueren, H.G. van
Roosterfouten in metalen, halfgeleiders en ionenkristallen 22,406
Burger, G.C.E. en G. Klein
Vector-elektrocardiografie 21, 25
Burgt, C.M. van der
Ferroxcubemateriaal voor piëzomagnetische trillers 18,285
Cant, B.A.
Problemen bij de constructie van kleine radiobuizen 18,193
Casimir, H.B.G.
Wetenschap en industrie 20, 65
Algemene inleiding tot het Symposium in het Natuurkundig Laboratorium op 26/27 september 1963 25,158
Enige hoofdlijnen van 50 jaren natuurkundig onderzoek bij Philips 25,159
Cayzac, J.
Automatische frequentiestabilisatie voor een straalzender op centimetergolven 17,392
Champeix, R., H. Dormont en E. Morilleau
Een fotomultiplicatorbuis voor scintillatietellingen . 16,270
Chippendale, T.R.
* Lineaire elektronenversnellers voor röntgendieptetherapie 17,197
Een 4-MeV-röntgeninstallatie voor materiaalonderzoek 23,309
Cirkel, P., zie Boer, F. de
Cock, H.G. de
Trilvullers 24, 88
Coeterier, F.
De multireflexiebuis als zendbuis in een straalzenderverbinding 17,293
Cohen, A.
Het fonetisch onderzoek 24,348
Combée, B.
* Een röntgenbuis voor microradiografie 17,189
— en A. Recourt
Een eenvoudig toestel voor contactmicroradiografie tussen 1,5 en 5 kV 19,185
Coppola, P.P., zie Hughes, R.C.
Couwenberg, H.J.M., zie Kooy, C.
Cupido, P.M.
Meten en regelen in de glasfabricage 22,324
Custers, J.F.H. en A.J. van der Wagt
* Het richten van diamanten voor gereedschap met behulp van de röntgenbeeldversterker 21,156
Dagpunar, S.S., E.G. Meerburg en A. Stecker
Microfonie van elektronenbuizen. 22, 80
Dam, L.P.M. ten en D. Kolkman
Verlichting in treinen en andere verkeersmiddelen door middel van „TL" lampen 18, 28
Deelman, H.E.
* Verbeterd felsen 19,213
Dekkers, A.J. en A.J.W. Duijvestijn
Het oplossen van een legpuzzel met de PASCAL . . 24,151
Dekkers, J.R.M., zie Knippenberg, W.F.
Dell, H.A., D.S. Hobbs en M.S. Richards
Een apparaat voor het tellen van microscopische deeltjes en het bepalen van hun grootteverdeling . 21,345
—, zie Goddard, N.E.
Diemer, G.
Opto-elektronica 23,277
—, H.A. Klasens en P. Zalm
Elektroluminescentie en beeldversterking 18,357
—, K. Rodenhuis en J.G. van Wijngaarden
De EC 57, een schijftriode voor microgolven met L-katode 18,321
—, zie Santen, J.G. van
Dikhoff, J.A.M.
Inhomogeniteiten in gedoteerde germanium- en siliciumkristallen. 25,107
Does de Bye, J.A.W. van der
De scintillatieteller 20,209
De signaal-ruisverhouding en de dode tijd van een scintillatieteller. 20,257
Doesschate, G. ten
Iets uit de geschiedenis van het meten van reactietijden 24,383
Domburg, J., zie Schouten, J.F.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Doorn, C.Z. van
* Verhitting van een stof in damp bij onafhankelijk regelbare druk en temperatuur **24,**238
Dorgelo, E.G.
Zendbuizen voor gebruik in de industrie **20,**241
Dormont, H., zie Champeix, R.
Dorsten, A.C. van
* Blikseminslag in vliegtuigen **17,** 94
* Een generator voor snelle neutronen **17,**159
— en J.B. Le Poole
De EM 75 kV, een elektronenmicroscoop van vereenvoudigde constructie **17,** 42
Dowling, P.H., C.F. Hendee, T.R. Kohler en W. Parrish
Telbuizen voor röntgenstralen **18,**264
Drift, A. van der, zie Haan, E.F. de
Ducot, C.
Straalzenders met dubbele frequentiemodulatie . . **17,**281
Duis, J.A. ten
* Een toestel voor het onderzoek van de soldeerbaarheid van draad. **20,**109
Dumbrill, H.W., zie Hardenberg, J.J.C.
Duuren, K. van
* Een eenvoudige en compacte opstelling voor het meten van zwak radioactieve preparaten **20,**121
Duyfjes, W.
Het formuleren van pesticiden **19,**170
Duyster, H.C.
Het Philipspaviljoen op de Wereldtentoonstelling te Brussel 1958,
IV. De constructie van het paviljoen in voorgespannen beton **20,**151
Duijvestijn, A.J.W., zie Dekkers, A.J.
Edens, A.H.
Het aaneensmelten van venster en conus van televisieweergeefbuizen **20,** 6
Einramhof, F.
Verlengde visuele waarneming van spiralen op de wikkelmachine **22,**252
— en P. Havas
De automatisering van een spiraalwikkelmachine met behulp van actieve tellers **21,**302
Eland, A.J.
* Etsputten op cadmiumsulfidekristallen **22,**278
* Etsputten op een zinksulfidekristal **24,** 68
Elenbaas, W.
De hogedrukkwiklamp 50 jaar **18,**135
— en Th. Hehenkamp
Een nieuwe fluorescentielamp in een schakeling zonder starter **17,**260
Emmens, H., zie Boer, F. de
Enz, U. en H. Zijlstra
Het bepalen van magnetische grootheden door verplaatsingsmetingen **25,**119
Ermrich, W., zie Klopfer, A.
Es, C.W. van, M. Gevers en F.C. de Ronde
Golfpijpapparatuur voor 2 mm golflengte,
I. Onderdelen **22,**122
II. Meetopstellingen **22,**229
Espersen, G.A.
Magnetrons met naleveringskatode **23,**302
— en J.W. Rogers
Elektronenemissie van materialen voor elektronenbuizen **20,**370
—, zie Plante, R.A. La
Esveldt, C.J., zie Wijn, H.P.J.
Ettema, E.H., zie Blink, W.P. van den
Exalto, L.J.H.
De temperaturen in armaturen voor gloeilampen . **21,**292
Fast, J.D.
Entropie in wetenschap en techniek,
I. Het begrip entropie. **16,**202
II. Voorbeelden en toepassingen **16,**278
III. Voorbeelden en toepassingen (vervolg) . . . **16,**336
Vreemde atomen in metalen **17,** 1
— en D.J. van Ooijen
Waterstof in ijzer en staal,
I. Oplossing en afscheiding **24,**220
II. Breukvorming **24,**251
— en F.L.H.M. Stumpers
Entropie in wetenschap en techniek,
IV. Entropie en informatie **18,**170
Feddema, J.
Toepassing van de röntgenbeeldversterker,
V. Medische beschouwingen betreffende de beeldversterker **17,** 85
Fine, S. en C.F. Hendee
Radioactieve nuclides als bron van röntgenstralen . **18,**299
Forbes, R.J.
De toepassing van glas in de loop der eeuwen . . . **22,**294
Fortuin, G.J.
Gezichtsscherpte in verband met televisie **16,** 79
Foskett, R.D., zie Neppiras, E.A.
Francken, J.C.
Het weerstandsnetwerk, een eenvoudig en nauwkeurig hulpmiddel voor het bepalen van potentiaalverdelingen **21,** 11
—, J. de Gier en W.F. Nienhuis
Een pentodekanon voor televisieweergeefbuizen . . **18,** 73
—, zie Waal, J. van der
Fransen, J.J.B. en H.J.R. Perdijk
Getterspiegels van barium **19,**308
Geels, B.H.
Een huistelefoonsysteem met snelle draaikiezers . . **17,**321
Geenen, M.J.W.
* Een toestel voor buigproeven **17,**271
Geldermans, P., zie Wijn, H.P.J.
Gentner, W.
Het 600-MeV-synchrocyclotron van de CERN te Genève,
I. Doelstelling en ontwerp **22,**150
Gerthsen, P., J.A.A. Gilsing en M. van Tol
Een automatisch werkend dauwpuntsapparaat met Peltier-koeling **21,**211
Gevers, M., zie Es, C.W. van
Gieles, J.P.M.
Een bredebandversterker met schijftriode voor 4000 MHz **19,**149
Gebruiksmogelijkheden van centimetergolftriodes . **22,** 22
— en G. Andrieux
Een bredebandversterker met een uitgangsvermogen van 10 W bij 4000 MHz **21,** 75
Gier, J. de, zie Francken, J.C.
Gier, N.A. de, W. van Gool en J.G. van Santen
Fotoweerstanden van geperst en gesinterd cadmiumsulfide **20,**285
Gilsing, J.A.A., zie Gerthsen, P.
Ginkel, H. van
Lichtstipaftasters voor kleurentelevisie **21,**251
Glässer, W., H.G. Grimmeiss en H. Scholz
* Luminescerende *P-N*-overgangen in galliumfosfide . **25,** 56
Goddard, N.E. en H.A. Dell
* Een installatie voor meteorologische waarnemingen met een radarsonde **19,**302
Goedkoop, J.A.
Neutronendiffractie **23,** 33
Gool, W. van, zie Gier, N.A. de
Goorissen, J.
Segregatie en dotering van verontreinigingen bij de bereiding van germanium en silicium **21,**189
Gorter, E.W., zie Wijn, H.P.J.
Gradstein, S.
* De rekenmachine van Blaise Pascal **24,**102
Greefkes, J.A., zie Jager, F. de
Grimmeiss, H.G. en H. Koelmans
* *P-N*-luminescentie in galliumfosfide **22,**384
—, zie Glässer, W.
Groendijk, H.
* Een ruisdiode voor decimetergolven **19,**383
—, zie Beer, A.J.F. de
Gude, H. te en E. Schaaff
* Een nieuw soort afstemindicator. **18,**215
Haaf, F.E.L. ten, G. Klein en F.J. Schijff
Een meet-, regel- en beveiligingsinstallatie voor een kernreactor van het bassintype,
II. Nadere bespreking van enige onderdelen . . **19,**289
Haan, E.F. de
* Het „Plumbicon", een nieuwe televisie-opneembuis **24,** 64
—, A. van der Drift en P. P. M. Schampers
Het „Plumbicon", een nieuwe televisie-opneembuis . **25,**277

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Haanstra, H.B.
Een eenvoudig ultramicrotoom **17**,183
—, J.J. de Jong en J.M.G. Smeets
* De submicroscopische structuur van „Ticonal" G magneetstaal. **19**, 76
—, zie Knippenberg, W.F.
Hagedoorn, H.L., zie Verster, N.F.
Haisma, J., S.J. van Hoppe, H. de Lang en J. van der Wal
* Een kleine, stabiele gaslaser. **24**,217
Haitjema, M.Tj., W. Kopinga en S.J. Porte
Metingen aan luidsprekers **21**,368
Halberstadt, J.
Proeven met radioactieve preparaten van het acaricide „Tedion V 18" **21**,242
Halbertsma, N.A.
Het ontstaan van een gloeilampenfabriek in 1891 . **23**,202
Halbmeyer, A.J., zie Beek, R. van
Hamacher, E.A. en K. Lowitzsch
De „Norelco" telfrequentie-automaat **17**,334
—, zie Parrish, W.
Hamaker, H.C.
Toegepaste statistiek, een belangrijke faze in de ontwikkeling van de experimentele wetenschap . . . **22**,113
Hammar, M., A. Rydahl en B. Westerlund
Elektronentechniek in de houtindustrie **23**,169
Hammerton, J.C., zie Trier, P.E.
Hamming, I. en J.F.T. van Heemskerck Veeckens
* Een openluchtlaboratorium voor wegverlichting . . **19**,199
Hardeman, G.E.G.
Dubbele magnetische resonantie **24**,201
Hardenberg, J.J.C.
Een apparatuur voor röntgencinematografie met een 28-cm-beeldversterker **20**,305
— en H.W. Dumbrill
De „Symmetrix", een universeel statief voor de röntgendiagnostiek **17**,101
Haringx, J.A.
Een contourfreesbank met numerieke besturing, I. Algemene beschrijving. **24**,289
— en H. van Suchtelen
De slinger van Foucault in het gebouw van de Verenigde Naties te New York **19**,243
Harrick, N.J.
Het maken van vingerafdrukken met behulp van totale reflexie **25**, 58
Hart, P.A.H.
Standaardruisbronnen **23**,284
— en G.H. Plantinga
* Een experimentele ruisgenerator voor millimetergolven **22**,404
Harten, G.A. en A.K. Koroncai
Continue meting van de hartfrequentie van werkende personen **21**,297
Hauer, A. en M. van Tol
Een radiosonde voor meteorologische waarnemingen **16**,115
Havas, P., zie Einramhof, F.
Haven, Y.
Roosterfouten in kristallen, bestudeerd aan alkalihalogenides **20**, 51
Heemskerck Veeckens, J.F.T. van, zie Hamming, I.
Hehenkamp, Th.
Voedingsapparatuur voor de lichtbebakening van vliegvelden **17**, 20
* Kleine voorschakelapparaten voor „TL" lampen . . **18**,279
De levensduur van voorschakelapparaten voor gasontladingslampen,
I. Transformatoren en smoorspoelen **20**, 18
II. Condensatoren **20**,114
— en J.J. Wilting
Gelijkstroom-wisselstroomomzetters met transistors, voor het voeden van fluorescentielampen **20**,347
—, zie Elenbaas, W.
Heide, H. van der, H.G. Bruijning en H.P.J. Wijn
Schakeltijden bij ferrieten met rechthoekige hysteresislus **18**,341
Hendee, C.F. en W.B. Brown
Stroboscopisch gebruik van fotomultiplicatorbuizen. **19**,203
—, zie Dowling, P.H.
—, zie Fine, S.
Hengel, J. van en J. Volger
* Een radiotoestel met transistors, gevoed uit een thermozuil **18**,158
Hesselink, J. en K. Reinsma
Dosismeters voor röntgenstraling **23**, 47
Heuven, E.W. van
De geluidemissie van voorschakelapparaten voor fluorescentielampen **18**, 83
Schokbeproeving van gloeilampen **24**,193
Heijn, H.J. en N.C. de Troye
Een snelle methode voor het lezen van magneetringgeheugens **20**,180
Heijne, L.
Fysische grondslagen van de fotogeleiding,
I. Grondbegrippen; contacten op halfgeleiders . **25**,262
—, P. Schagen en H. Bruining
Een experimentele opneembuis voor televisie, met toepassing van fotogeleiding **16**, 43
Hobbs, D.S., zie Dell, H.A.
Hoekstra, P. en Ch. Meyer
Cinemaprojectie met flitsende lichtbron. **21**,121
Holm, W.A. en F.H.J. van der Poel
* Kleurentelevisie in dienst van het medisch onderwijs **20**,343
Hondius Boldingh, W.
Spiegelcamera's voor algemene röntgendiagnostiek . **16**, 51
Hoogenband, J.C. van den en J. Stolk
Het meten van reflexies en impedanties met behulp van een lange leiding **16**,325
Hoppe, S.J. van, zie Haisma, J.
Horeman, H.W., zie Bouma, H.
Horseling, J.
* Een hoogvacuümkraan met korte ontgassingstijd . **17**,231
Horst, H.L. van der en P.H.G. van Vlodrop
Een experimentele generator met waterstofthyratrons voor inductieve verhitting **20**, 12
Huber, C. en J. Rodrigues de Miranda
Voorversterker met transistor voor de magnetodynamische groeftaster **18**,210
Hughes, R.C. en P.P. Coppola
Naleveringskatodes,
II. De geperste katode **19**,228
Huissoon, M.
Het frequentiemodulatiegedeelte van moderne omroepontvangers,
II. De ingebouwde FM-antenne **17**,388
Hurck, N. van, zie Seeger, Ch.L.
—, zie Stumpers, F.L.H.M.
Huijer, P., W.Th. Langendam en J.A. Lely
Vervaardiging van weerstanden door opdampen . . **24**,329
Iperen, B.B. van
* Een reflexieklystron voor 4 mm golflengte **18**, 55
Reflexieklystrons voor 4 en 2,5 mm golflengte . . . **21**,225
— en J.L. van Lidth de Jeude
Een multireflexieklystron voor toepassing in microgolfbakens. **24**,178
Jager, F. de
Modulatie, gisteren en morgen. **25**,171
— en J.A. Greefkes
„Frena", een systeem voor overbrenging van spraak bij hoge ruisniveaus **19**, 65
Jager, J.
De toepassing van germaniumpuntcontactdiodes . . **16**,242
Jansen Gration, M.J.
De planning van het nieuwe gebouwencomplex voor Philips' Natuurkundig Laboratorium **25**,206
Jaspers, A.M.J.
* Meting van radioactief jodium in de schildklier . . **18**, 93
Jenkinson, A.E.
Projectietopogrammen van dislocaties **23**,192
Jensen, H., zie Verse, H.
Jochems, P.J.W.
De legeer-diffusietechniek bij de vervaardiging van hoogfrequentietransistors **24**,229
Jonas, B. en G. Seitz
Losmaakbare verbindingen voor glazen hoogvacuumapparatuur **22**, 61
Jong, J.J. de, zie Haanstra, H.B.
Jonker, G.H.
Condensatormaterialen met grote diëlektrische constante **17**,111

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

—, H.P.J. Wijn en P.B. Braun
Ferroxplana, hexagonale ferromagnetische ijzeroxydeverbindingen voor zeer hoge frequenties 18,253
Jonkers, C.O., zie Köhler, J.W.L.
Kalff, L.C.
Verwezenlijking van het „Elektronisch Gedicht" in het Philipspaviljoen op de Wereldtentoonstelling te Brussel,
A. De lichteffecten 20,161
Kauer, E.
Lichtopwekking met selectieve thermische stralers 25,349
Kerstens, J.B.S.M.
Mechanische verschijnselen bij de hogetonenweergave van groeftasters 18, 95
Kessel, Th.J. van
„Compatible" eenzijbandmodulatie 25,317
King, R.E.J. en B.E. Bartlett
Eigenschappen en toepassingen van indiumantimonide 22,357
Klasens, H.A., zie Diemer, G.
Klein, G. en J.J. Zaalberg van Zelst
Algemene beschouwingen over verschilversterkers . 22,366
Schakelingen voor verschilversterkers, I, II . . . 23, 69 / 23,119
Verschilversterkers met een rejectiefactor groter dan een miljoen 24,279
Een niet-lineair belastbare laagfrequentie-oscillator met zeer kleine vervorming 25, 20
Combinaties van buizen en transistors in een gestabiliseerde gelijkspanningsbron van 2000 V 25, 93
Enkele eenvoudige actieve filters voor lage frequenties 25,376
—, zie Burger, G.C.E.
—, zie Haaf, F.E.L. ten
Kleis, D.
Moderne geluidstechniek,
I. Algemene grondslagen 20,263
II. Elektro-akoestische voorzieningen in grote theaters 21, 54
Klerk, M., zie Boort, H.J.J. van
Klopfer, A. en W. Ermrich
Een kleine getter-ionenpomp 22,272
— en W. Schmidt
Een omegatron voor kwantitatieve analyse van gassen 22,199
Knippenberg, W.F., H.B. Haanstra en J.R.M. Dekkers
* Kristalgroei van siliciumcarbide 24,175
Knol, K.S.
Ruis 20, 29
Knowles, J.E.
Het omkeerproces van de magnetisatie in ferrieten met een rechthoekige hysteresislus 24,240
Koelmans, H., zie Grimmeiss, H.G.
Köhler, J.W.L. en C.O. Jonkers
Grondslagen van de koudgaskoelmachine 16, 33
Constructie van een koudgaskoelmachine 16, 61
—, zie Ster, J. van der
Kohler, T.R., zie Dowling, P.H.
Kolkman, D., zie Boort, H.J.J. van
—, zie Dam, L.P.M. ten
Koopmans, M.J.
Fungicidenonderzoek 17,238
Kooy, C.
* Zichtbaarmaking van gebieden van Weiss door het Faraday-effect 19,371
— en H.J.M. Couwenberg
Zonesmelten van oxydes in een koolboogbeeldoven . 23,143
Kopinga, W., zie Haitjema, M.Tj.
Koroncai, A.K., zie Harten, G.A.
Kortleven, S., zie Schmitter, K.H.
Koster, J.
Verschijnselen bij FM-ontvangst langs verschillende wegen tegelijk, en het nabootsen ervan in het laboratorium 22,374
Kotte, J.J.
Een professionele cinemaprojector voor 16-mm-film. 16, 17
* Een bioscoopprojector voor 70-mm- en voor 35-mm-film 17,353
Een cinemaprojector van vereenvoudigde constructie 21,131
Krienen, F., zie Bollée, B.
Kroon, D.J.
Kernspinresonantie 21,278
Kruiff, G.T. de en N.F. Verster
Het 160-MeV-synchrocyclotron met bundelextractie te Orsay. 23,397
Kruithof, A.A. en J.L. Ouweltjes
Kleur en kleurweergave van „TL" lampen 18,221
—, zie Boort, H.J.J. van
Kuiper, A., zie Almer, F.H.R.
Kuntke, A.H.G.
Röntgenbuizen met lange elektronenbanen 20,248
Laan, C.J.M. van der en K. Roozendaal
Een sneeuwafscheider voor vloeibareluchtinstallaties 23, 59
Lang, G. en R.O. Schumacher
Toepassing van de röntgenbeeldversterker,
VI. Materiaalonderzoek met de beeldversterker . 17, 90
Lang, H. de en G. Bouwhuis
De kleurscheiding in kleurentelevisiecamera's . . . 24,261
—, zie Haisma, J.
Langendam, W.Th., zie Huijer, P.
—, zie Reynst, M.F.
Leblans, L.M.L.J.
* Een precisie-draaibankkop 19, 48
— en M.L. Verheijke
* Een precisieslijpmachientje voor diffusie-onderzoek met radioactieve isotopen 25,103
Lely, J.A., zie Huijer, P.
Lemmens, H.J. en P. Zalm
Nieuwe ontwikkelingen op het gebied van oxydekatodes,
I. Oxydekatodes voor belastingen van 1 tot 2 A/cm² 23, 21
Lenders, W.L.L.
Het orthocyclisch wikkelen van spoelen 23,381
Levi, R.
Een methode voor het bewerken van wolfraam . . 17,234
Naleveringskatodes,
III. De geïmpregneerde katode 19,235
Leyten, J., zie Tjaden, D.L.A.
Lidth de Jeude, J.L. van, zie Iperen, B.B. van
Ligtenberg, F.K., zie Bouma, A.L.
Lindenhovius, H.J., zie Basel, C. von
Lokker, J.C.
Het 50-jarig jubileum van de halfwattlamp 25, 2
Loos, C.H.
De invloed van niet-lineair gedrag van een registreertoestel op de eigenschappen van een regelkring . . 23,159
Lopes Cardozo, B., zie Ritsma, R.J.
Lotgering, F.K.
* Topotactisch gerichte ferromagnetica 20,367
Lowitzsch, K., zie Hamacher, E.A.
—, zie Parrish, W.
Maartens, J.H.J., zie Schagen, P.
Meerburg, E.G., zie Dagpunar, S.S.
Meerendonk, H.W. van den en J.H. Schouten
De snijverliezen bij de fabricage van golfkarton . . 24,121
Meerkamp van Embden, H.J.
* De ontwikkeling der permanente magneten in vogelvlucht 19, 23
Meltzer, J.
Het onderzoek van de bestrijding van dierlijke plagen 17,120
Mentzel, E. en H. Stietzel
* Een schijftriode in metaal-keramiekuitvoering voor frequenties tot 6000 MHz 21,115
Meyer, Chr.
Recente ontwikkelingen op het gebied van de ontladingsflitslampen 22,389
—, zie Hoekstra, P.
Meijer, R.J.
De Philips heetgasmotor met ruitdrijfwerk 20,325
Meijering, J.L. en G.D. Rieck
De functie van toevoegsels in wolfraam voor gloeidraden 19,109
Michels, A.J., zie Biermasz, A.L.
Miranda, J. Rodrigues de, zie Rodrigues de Miranda, J.
Moed, H.D.
„Duvadilan", een nieuw vaatverwijdend middel . . 24, 73

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Morilleau, E., zie Champeix, R.
Muller, C.A.
Een ontvanger voor de radiostraling van interstellaire waterstof,
I. Het onderzoek van de waterstofstraling . . . **17**,249
II. Bouw van de ontvanger **17**,341
Muijderman, E.A.
Nieuwe lagervormen: gaslager en spiraalgroeflager **25**,296
Nemet, A., R.B. Stephens en W.A. Bayfield
Een toestel voor het aantonen van radioactieve besmetting aan handen, voeten en kleding **16**,360
Neppiras, E.A. en R.D. Foskett
Ultrasone materiaalbewerking,
I. Werkwijze en apparatuur. **19**, 37
II. Toepassing en prestaties van ultrasone boormachines **19**, 94
Nie, A.G. van en J.J. Zaalberg van Zelst
Een trilplaatcondensator, gedreven door een hoogfrequent elektrisch veld **25**, 77
Nienhuis, K., zie Reifenschweiler, O.
Nienhuis, W.F., zie Boer, F. de
—, zie Francken, J.C.
Noordermeer, L.J., zie Oosterhout, G.W. van
Nijenhuis, W.
De PASCAL, een zeer snelle digitale elektronische rekenmachine voor Philips' Rekencentrum **23**, 1
Rekengeluiden van de PASCAL **24**,157
Okkerse, B.
Het maken van dislocatievrije germaniumkristallen . **21**,336
Ommering, R.Ch. van en G.C.M. Schoenaker
Een contourfreesbank met numerieke besturing,
II. Het commando-orgaan **24**,298
Ooms, J.L.
Het opname- en het produktieproces van grammofoonplaten. **17**, 33
Oort, J.F. van en W. Bakker
Draadloos bekrachtigd speelgoed **24**, 66
Oosterhout, G.W. van en L.J. Noordermeer
Snelle en nauwkeurige magnetische metingen aan enkele milligrammen materiaal **25**,139
Oosterkamp, W.J.
Technische vruchten van kernfysisch onderzoek . . **24**, 1
—, J. Proper en M.C. Teves
Röntgenonderzoek van hete blokken staal in een walserij **21**,273
—, J. Proper en J.J.F. de Wijk
* Dosimetrie van de zeer zwakke röntgenstraling, opgewekt in televisieontvangers en röntgendiffractieapparaten **19**,280
—, zie Tol, T.
Ooijen, D.J. van, zie Fast, J.D.
Ouweltjes, J.L., zie Kruithof, A.A.
Palfreeman, J.S., zie Brockelsby, C.F.
Panis, C.J.W., zie Boer, F. de
Papenhuijzen, P.J.
Een zendtriode voor frequenties tot 900 MHz . . . **19**,118
Parrish, W.
Meting van röntgenintensiteiten met telbuizen . . **17**,300
Spectrochemische analyse met röntgenstralen . . . **17**,361
—, E.A. Hamacher en K. Lowitzsch
De „Norelco" röntgendiffractometer **16**,253
—, zie Dowling, P.H.
Pasma, D. en G. Spakman
Een transistor-autoradio met druktoetsafstemming **24**, 29
Pauw, L.J. van der
* Meting van de soortelijke weerstand en van de Hall-coëfficiënt aan schijfjes van willekeurige vorm . . **20**,221
Pel, H.J., zie Alink, R.J.H.
Pelt, J.G. van
* Toepassing van NTC-weerstanden bij de ebulloscopische molecuulgewichtsbepaling **20**,352
Penning, P.
Het ontstaan van dislocaties door thermische spanningen **19**,375
Peper, J.
* Gasanalyse aan afgesmolten katodestraalbuizen met behulp van het omegatron **19**,266
Perdijk, H.J.R., zie Fransen, J.J.B.
Plante, R.A. La en G.A. Espersen
Een ruisarm klystron voor groot vermogen **19**, 15
Plantinga, G.H.
Een impulsmagnetron voor 2½ mm golflengte . . . **25**,129
—, zie Hart, P.A.H.
—, zie Verweel, J.
Ploegsma, A.W.
* De fabricage van saffier- en diamantnaalden voor groeftasters **19**,320
Ploos van Amstel, J.J.A.
Enkele methodes ter verkrijging van stabiele transistors. **22**,208
Poel, F.H.J. van der
Een lichtstipaftaster voor uitzending per televisie van 35-mm-film **18**,161
—, zie Holm, W.A.
Polder, D.
De vruchten en de wortels van het onderzoek van de vaste stof **21**,330
Poole, J.B. Le, zie Dorsten, A.C. van
Poorter, T. en F.W. de Vrijer
Het weergeven van kleurentelevisiebeelden door middel van projectie **19**,353
Porte, S.J., zie Haitjema, M.Tj.
Prins, B.H.G. en J.M.G. Seppen
* De havenradar van Rotterdam **20**,361
Proper, J., zie Oosterkamp, W.J.
Quant, H. de en P. Zijp
Het frequentiemodulatiegedeelte van moderne omroepontvangers,
I. Schakelingen en mechanische uitvoering **17**,382
Rademakers, A., zie Bruijning, H.G.
Rathenau, G.W., zie Baas, G.
—, zie Stuijts, A.L.
Recourt, A., zie Combée, B.
Reifenschweiler, O. en K. Nienhuis
De neutronenbuis, een eenvoudige en compacte neutronenbron **23**,341
Reiniger, F.
Bestudering van warmtegeleidingsproblemen met behulp van de elektrolytische trog **18**, 11
Reinsma, K., zie Hesselink, J.
Remedi, G.
Kermis der wetenschap. **18**, 62
Reynst, M.F. en W.Th. Langendam
Berekening van luidsprekermagneten van ferroxdure **24**,144
Richards, M.S., zie Dell, H.A.
Rieck, G.D., zie Meijering, J.L.
Rietveld, J.J., zie Blok, H.
Ritsma, R.J. en B. Lopes Cardozo
De toonhoogtegewaarwording **24**,341
Robinson, N.W.
Elektronische flitslampen **16**,163
Rodenhuis, K., H. Santing en H.J.M. van Tol
Betrouwbaarheid en levensduur van professionele versterkbuizen **18**,145
—, zie Diemer, G.
Rodrigues de Miranda, J.
Laagfrequentieversterkers met direct gekoppelde luidspreker. **19**, 1
—, zie Huber, C.
Rogers, J.W., zie Espersen, G.A.
Ronde, F.C. de, zie Es, C.W. van
Roosdorp, H.J.
Elektronische regeling van industriële processen . . **16**,371
Roozendaal, K., zie Laan, C.J.M. van der
Roufs, J.A.J., zie Bouma, H.
Rutgers van der Loeff, M. en J.B. de Boer
* Verlichting van het Nationaal Monument te Amsterdam **18**,234
Rydahl, A., zie Hammar, M.
Rijssel, T.W. van, zie Schagen, P.
Santen, G.W. van, zie Basel, C. von
Santen, J.G. van en G. Diemer
Een fotogelijkrichtende laag voor een leesmatrix . **23**,329
—, zie Gier, N.A. de
Santing, H., zie Rodenhuis, K.
Schaaff, E., zie Gude, H. te
Schagen, M.J. van
* Apparatuur voor het zichtbaar maken van complexe diagrammen bij variërende frequentie **19**, 11

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Schagen, P., J.R. Boerman, J.H.J. Maartens en T.W. van Rijssel
De „Scenioscope", een nieuwe opneembuis voor televisie **17**,173
—, zie Heijne, L.
—, zie Woodhead, A.W.
Schalkwijk, W.F.
Operations Research **25**, 65
Schampers, P.P.M., zie Haan, E.F. de
—, zie Warmoltz, N.
Schee, B.L.A. van der en M. van Tol
De instrumentatie voor een subkritische homogene suspensiereactor,
II. Meting en regeling van werkparameters . . . **21**, 98
Schiefer, G.
* Een symmetrische meetleiding voor meter- en decimetergolven **21**,112
Een kleine ferroxcube-antenne voor ultrakortegolfontvangst **24**,324
Schmidt, W.
Verwarming van spijzen in een magnetronfornuis . . **22**, 99
Schmidt, W., zie Klopfer, A.
Schmitter, K.H. en S. Kortleven
Het 600-MeV-synchrocyclotron van de CERN te Genève,
II. De hoogfrequentie-installatie **22**,157
Schoenaker, G.C.M., zie Ommering, R. Ch. van
Scholz, H., zie Glässer, W.
Schouten, J.F.
Het Instituut voor Perceptie Onderzoek **24**,337
— en J. Domburg
De DONDERS, een elektronisch meetsysteem voor menselijke reacties **24**,372
Schouten, J.H., zie Meerendonk, H.W. van den
Schröder, J.
Een eenvoudige methode voor het bepalen van het warmtegeleidingsvermogen van vaste stoffen . . **22**, 12
Schultink, L., H.L. Spier en A.J. van der Wagt
De slijtage van diamanten trekstenen **16**, 87
— en P.G. van Zanten
Dun wolfraamdraad voor kleine radiobuizen . . . **18**,199
Schumacher, R.O., zie Lang, G.
Schurink, J.J.
De elektrodynamische dubbelconusluidspreker. . . **16**,289
—, zie Bleeksma, G.J.
Schwab, V.V. en J.G. van Wijngaarden
De EC 59, een zendtriode met 10 W vermogen bij 4000 MHz **20**,295
Schijff, F.J.
De instrumentatie voor een subkritische homogene suspensiereactor,
IV. De beveiligingsschakeling **21**,151
—, zie Haaf, F.E.L. ten
Seeger, Ch.L., F.L.H.M. Stumpers en N. van Hurck
Een 75-cm-ontvanger voor radioastronomie en enige hiermee verkregen resultaten **21**,313
Seitz, G., zie Jonas, B.
Seppen, J.M.G. en J. Verstraten
Een 8-mm-radarinstallatie **21**, 41
—, zie Prins, B.H.G.
Slooten, J. van
FM-ontvangst met relatief sterke storingen **22**,219
Smeets, J.M.G., zie Haanstra, H.B.
Spakman, G., zie Pasma, D.
Speekman, B.W., zie Alink, R.J.H.
Spier, H.L., zie Schultink, L.
Stecker, A., zie Dagpunar, S.S.
Steen, J. van der, zie Bastiaans, C.R.
Steneck, W.G., zie Brockman, F.G.
Stephens, R.B.
Netspanningsstabilisatoren **17**,149
—, zie Nemet, A.
Ster, J. van der en J.W.L. Köhler
Een kleine luchtsplitsingsinstallatie met koudgaskoelmachine voor het maken van vloeibare stikstof **20**,196
Stevels, J.M.
Nieuwe inzichten in de structuur van glas **22**,312
Stieltjes, F.H. en L.J. Tummers
Eenvoudige theorie van de lagentransistor **17**,201
De transistor bij grote stroomdichtheden **18**, 20
Stietzel, H., zie Mentzel, E.
Stolk, J., zie Hoogenband, J.C. van den
Stumpers, F.L.H.M. en N. van Hurck
* Een automatische indicator van de ruisfactor . . . **18**,122
—, zie Fast, J.D.
—, zie Seeger, Ch.L.
Stuijts, A.L., G.W. Rathenau en G.H. Weber
Ferroxdure II en III, anisotrope permanent magnetische materialen **16**,189
— en H.P.J. Wijn
Ferroxplana met gerichte kristallen **19**,217
Suchtelen, H. van
Een eenvoudige schakeling voor een lichtbron van constante sterkte **21**,246
—, zie Haringx, J.A.
Svašek, J.N., zie Arlman, J.J.
Tak, W.
Verwezenlijking van het „Elektronisch Gedicht" in het Philipspaviljoen op de Wereldtentoonstelling te Brussel,
B. De geluidseffecten **20**,167
Taylor, D.G., zie Woodhead, A.W.
Teer, K.
* De hoorbaarheid van fazefouten **25**, 74
Tellegen, B.D.H.
De gyrator, een elektrisch netwerkelement **18**,104
Teves, M.C.
Toepassing van de röntgenbeeldversterker,
I. Algemeen overzicht **17**, 65
—, zie Oosterkamp, W.J.
Tjaden, D.L.A. en J. Leyten
Een model op schaal 5000 : 1 van het magnetische registratieproces **25**,365
Tol, H.J.M. van, zie Rodenhuis, K.
Tol, M. van
Een meet-, regel- en beveiligingsinstallatie voor een kernreactor van het bassintype,
I. Algemene beschrijving **19**,253
De instrumentatie voor een subkritische homogene suspensiereactor,
IIIB. Het meten van grote neutronenflux met behulp van een elektrometer **21**,147
Toepassing van regeltheorie op regelkringen met lineaire elementen **23**, 79
Kringversterking en stabiliteit van eenvoudige regelsystemen **23**,114
— en F. Bregman
Een stralingsmonitor met transistors **21**,216
—, zie Gerthsen, P.
—, zie Hauer, A.
—, zie Schee, B.L.A. van der
Tol, T. en W.J. Oosterkamp
Toepassing van de röntgenbeeldversterker,
II. De zichtbaarheid van kleine objectdetails . . . **17**, 68
Tosswill, C.H.
Relaisbuizen met koude katode **18**,237
Trier, P.E., J.C. Hammerton en E. Wolfendale
Een neutronenspectrometer, werkend volgens de looptijdmethode **16**, 97
Troye, N.C. de, zie Heijn, H.J.
Tummers, L.J., zie Beun, M.
—, zie Stieltjes, F.H.
Turnbull, A.A.
Precisiedraaicondensatoren **20**,227
Tijen, J.W. van
Gloeilampen met jodiumhoudend vulgas,
I. Principe **23**,217
Unk, J.M.
Een snelle draaikiezer voor automatische telefonie . **18**,368
Valster, F.
Een radarantenne met snel draaiende bundel . . . **22**, 37
Veen, R. van der
„Boekesteyn", het fytofarmaceutisch laboratorium van de N.V. Philips-Roxane **16**,353
Groeistoffen in planten **17**,266
Het biologisch evenwicht **23**,105
Venema, A.
Naleveringskatodes,
I. Inleiding en overzicht **19**,226

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

— en M. Bandringa
Het verkrijgen en meten van extreem lage drukken . **20,** 97
Verheijke, M.L., zie Leblans, L.M.L.J.
Verhoeff, A., zie Brekoo, H.P.J.
Verkerk, B., zie Arlman, J.J.
Vermeulen, G.A.W., zie Bathelt, R.R.
Vermeulen, R.
Vergelijking tussen weergegeven en echte muziek . **17,**191
Stereonagalm **17,**223
* Een muziekinstrument voor doofstomme kinderen . **18,**206
Verse, H.
Een universeel toestel voor röntgenbestraling met bewegende buis **16,** 1
— en H. Jensen
Toepassing van de röntgenbeeldversterker,
IV. Een inrichting voor gerichte röntgenfoto's, voorzien van een beeldversterker met periscoop-optiek **17,** 80
— en K. Weigel
Een nieuw type onderzoektoestel voor de medische röntgendiagnostiek **17,**162
Verster, J.L.
Een apparaat voor het automatisch schrijven van elektronenbanen **22,**257
—, zie Beer, A.J.F. de
Verster, N.F. en H.L. Hagedoorn
Onderzoek van het magneetveld van een isochroon cyclotron **24,**106
—, zie Kruiff, G.T. de
Verstraten, J., zie Seppen, J.M.G.
Verweel, J. en G.H. Plantinga
Een serie impulsmagnetrons met L-katode voor centimeter- en millimetergolven **21,** 1
Vessem, J.C. van
Werking en constructie van germaniumdiodes . . . **16,**230
Viersma, T.J.
Enige beschouwingen over numerieke besturing van gereedschapswerktuigen **24,**165
Een contourfreesbank met numerieke besturing,
III. De hydraulische servomotor **24,**311
Vink, H.J.
Bijdragen van het Philips' Natuurkundig Laboratorium tot de chemie van de vaste stof. **25,**183
Vlaardingerbroek, M.T.
* Een experimentele triode voor 6000 MHz **21,**182
Vlodrop, P.H.G. van, zie Horst, H.L. van der
Volger, J.
Fysisch onderzoek bij lage temperatuur,
I. Inleiding **22,**193
II. Elektronengeleiding in metalen en halfgeleiders **22,**246
III. Warmtegeleiding in isolatoren; paramagnetisme; diëlektrische verliezen samenhangend met chemische roosterfouten **22,**280
Een dynamo voor het opwekken van een persisterende stroom in een supergeleidende keten **25,** 16
—, zie Hengel, J. van
Voorn, H.W. van der, zie Beekman, W.J.H.
Vreedenburgh, C.G.J.
Het Philipspaviljoen op de Wereldtentoonstelling te Brussel 1958,
II. De hypparschaal en zijn mechanische eigenschappen **20,**133
Vriend, J.A. de
Ontsteking van „Photoflux" lampen met behulp van een condensator **16,**349
Vries, G. de, zie Bollée, B.
Vries, J. de
Spanningsoptische uitzettingscontrole van materialen voor glas-metaalaansmeltingen **22,**351
Vries, R.W.P. de
Het glimpunt van glazuren **17,**127
Vrijer, F.W. de
Grondslagen van de kleurentelevisie **19,** 80
—, zie Poorter, T.
Waal, B. van der
Een eenvoudige analogon-rekenmachine voor het berekenen van het kleurpunt van een lichtbron . . . **23,** 89
Waal, J. van der en J. C. Francken
Restgasonderzoek aan televisiebeeldbuizen met behulp van het omegatron **23,** 92
Wagt, A.J. van der, zie Custers, J.F.H.
—, zie Schultink, L.
Wal, J. van der
* Cirkelvormige optische absorptiewiggen **22,**418
—, zie Haisma, J.
Ware, D.G., zie Brooker, M.W.
Warmoltz, N. en E. Bouwmeester
* Metalen vacuümapparatuur. **21,**177
— en P.P.M. Schampers
Een zakdosismeter voor röntgen- en gammastraling met ingebouwde laadinrichting **16,**134
—, zie Bouwmeester, E.
—, zie Winkelman, J.E.
Weber, C.
Het berekenen van potentiaalvelden en elektronenbanen met behulp van een elektronische rekenmachine **24,**130
* Meting van de intensiteitsverdeling in de lichtstip van een katodestraalbuis **25,** 29
Weber, G.H., zie Stuijts, A.L.
Weel, A. van
Fazelineariteit van televisieontvangers **18,** 37
Weigel, K., zie Verse, H.
Went, J.J.
De instrumentatie voor een subkritische homogene suspensiereactor,
I. Motivering van de keus van een homogene suspensiereactor **21,** 85
Werner, W.
De verschillende televisienormen, beschouwd uit het oogpunt van de ontvangtoestellenconstructeur . . **16,**196
Wessels, J.H.
Een geheugenwiel voor magnetische registratie van televisiebeelden **22,** 1
—, zie Backers, F.Th.
Westerkowsky, K., zie Zieler, E.
Westerlund, B., zie Hammar, M.
Westhoff, J.M.
Op zoek naar een maat voor de perceptieve arbeid . **24,**362
Westra, R.
Een „Photoflux" lamp met vereenvoudigde voet . **16,**227
Weijer, M.H.A. van de
Nieuwe mogelijkheden in natriumlampen **23,**226
—, zie Balder, J.J.
Wieringen, J.S. van
Paramagnetische resonantie **19,**325
Willigen, P.C. van der
Enige moderne methodes voor het booglassen van staal **24,** 14
—, zie Blink, W.P. van den
Wilting, J.J.
Parasitaire capaciteiten in neoninstallaties **21,**200
Gelijkstroom-wisselstroomomzetters met bestuurbare siliciumgelijkrichters voor fluorescentieverlichting . **23,**255
—, zie Hehenkamp, Th.
Winkel, J. te
Versterkers met tegenkoppeling voor draaggolftelefoniesystemen **16,**175
—, zie Beijersbergen, J.P.
Winkelman, J.E. en N. Warmoltz
Het fotograferen van het oog met behulp van elektronische flitslampen **16,** 46
Wittenberg, N.
Een magnetodynamische groeftaster,
I. Constructie **18,**113
II. Frequentiekarakteristieken **18,**183
Wolfendale, E., zie Trier, P.E.
Woodhead, A.W., D.G. Taylor en P. Schagen
Een experimentele beeldversterkerbuis met elektrostatische „Zoom"-optiek **25,**254
Wijk, J.J.F. de, zie Oosterkamp, W.J.
Wijn, H.P.J., E.W. Gorter, C.J. Esveldt en P. Geldermans
Voorwaarden voor een rechthoekige hysteresislus bij ferrieten **16,**124
—, zie Heide, H. van der
—, zie Jonker, G.H.
—, zie Stuijts, A.L.
Wijngaarden, J.G. van, zie Diemer, G.
—, zie Schwab, V.V.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Xenakis, Y.
Het Philipspaviljoen op de Wereldtentoonstelling te Brussel 1958,
I. Het architectonische ontwerp van Le Corbusier en Xenakis voor het paviljoen. **20**,126
Zaalberg van Zelst, J.J., zie Klein, G.
—, zie Nie, A.G. van
Zalm, P., zie Diemer, G.
—, zie Lemmens, H.J.
Zanten, P.G. van, zie Almer, F.H.R.
—, zie Schultink, L.
Zieler, E. en K. Westerkowsky
De Ampliscoop, een experimenteel toestel voor het harmoniseren van röntgenbeelden **24**,269
Zoethout, G.
* Bekist lassen van spoorstaven **19**,338
Zolingen, J.J. van
De instrumentatie voor een subkritische homogene suspensiereactor,
IIIA. Het meten van kleine neutronenflux met behulp van snelle impulstelkanalen **21**,136
Zonneveld, P. van
Machinale vervaardiging van ballons voor gloeilampen en radiobuizen **22**,333
Zijlstra, H., zie Enz, U.
Zijp, P., zie Quant, H. de

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!